

Руководство пользователя
пакета программного
обеспечения для управления
сканирующим зондовым
микроскопом и обработки
изображений
ФемтоСкан Онлайн

Версия 2.3.220



А. С. Филонов А. Д. Сушко И. В. Яминский

Москва, Центр перспективных технологий, 2012

Руководство пользователя пакета программного обеспечения для управления сканирующим зондовым микроскопом и обработки изображений “ФемтоСкан Онлайн”. Версия 2.3.220 - А.С. Филонов, А.Д. Сушко, И.В. Яминский - М.: Центр перспективных технологий, 2012, 154 с.

В руководстве дано подробное описание пакета программного обеспечения “ФемтоСкан Онлайн”, работы с отдельными его частями и со всем пакетом в целом. Описано использование программного обеспечения для управления микроскопом через локальную сеть и сеть Internet. В начале руководства приводится описание устройства сканирующего зондового микроскопа и принципы обработки изображений сканирующей зондовой микроскопии с учетом их особенностей.

Оглавление

1	Введение	1
1.1	Установка СЗМ	1
1.1.1	Схема установки - вариант 1	1
1.1.2	Схема установки - вариант 2	2
1.1.3	Механическая система микроскопа	2
1.1.4	Структура программного обеспечения - вариант 1	4
1.1.5	Программа платы DSP	6
1.1.6	Драйвер операционной системы	10
1.1.7	Сервер	10
1.1.8	Клиент	12
1.2	Методы построения и обработки изображений	13
1.2.1	Вычитание среднего наклона	13
1.2.2	Усреднение	15
1.2.3	Медианная фильтрация	16
1.2.4	Усреднение по строкам	16
1.2.5	Подсветка	17
2	Управление СЗМ	19
2.1	Сервер	19
2.1.1	Программа мониторинга и настройки сервера Fmboard	19
2.1.2	Конфигурация сервера	22
2.2	Клиент	26
2.2.1	Подключение к серверу	26
2.2.2	Выбор профиля	28
2.2.3	Панель администратора	28
2.2.4	Параметры сканирования	29
2.2.5	Сканирование поверхности	39
2.2.6	Снятие зависимостей	42
2.2.7	Осциллограф	43
2.2.8	Модуляция Z	43
2.2.9	Фотодиод (режим АСМ)	43
2.2.10	Снятие кривых в точке изображения	43
2.2.11	Дополнительные команды	43
2.2.12	Окончание работы	45

3	Обработка изображений	46
3.1	Общий вид программы	46
3.2	Настройка общих параметров	46
3.3	Работа с файлами	50
3.3.1	Открытие и импорт файлов	50
3.3.2	Быстрый просмотр файлов	52
3.3.3	Автоматический просмотр файлов	52
3.3.4	Печать файлов	53
3.3.5	Сохранение и экспорт файлов	55
3.3.6	Удаление файлов	55
3.3.7	Восстановление файлов	55
3.3.8	Внешний вид окна изображения	56
3.3.9	Работа с буфером обмена	57
3.3.10	Работа с файлами кривых	58
3.3.11	Просмотр текстовых заголовков файлов	58
3.3.12	Изменение масштаба изображений	58
3.4	Переключение в полноэкранный режим	59
3.5	Получение изображений с других устройств	60
3.5.1	Видеокамеры	60
3.5.2	Сканеры	61
3.6	Работа с палитрой	61
3.7	Режимы курсора	62
3.7.1	Выделение участков поверхности	64
3.7.2	Сечения	64
3.7.3	Измерение расстояний	67
3.7.4	Измерение углов	67
3.7.5	Построение кривых	67
3.7.6	Расстановка меток	68
3.7.7	Боковая подсветка	68
3.7.8	Инверсия цветовой палитры	69
3.8	Функции обработки данных (меню Математика)	69
3.8.1	Использование макрокоманд	69
3.8.2	Обрезание изображений	70
3.8.3	Инверсия высоты	70
3.8.4	Усреднение	70
3.8.5	Увеличение резкости	70
3.8.6	Фильтр Винера	71
3.8.7	Медианная фильтрация	71
3.8.8	Медианная фильтрация маской X	71
3.8.9	Медианная фильтрация маской Крест	71
3.8.10	Оптимизация шкалы	71
3.8.11	Транспонирование изображения	72
3.8.12	Поворот	72
3.8.13	Выравнивание	72
3.8.14	Сплайн	73
3.8.15	Сглаживание участка поверхности	74
3.8.16	Сложение и вычитание изображений	74
3.8.17	Морфологические фильтры	76
3.8.18	Анализ шероховатости поверхности	80
3.8.19	Пороговая фильтрация	81

3.8.20	Высота по интерференционной картине	81
3.8.21	Найти центр масс	81
3.8.22	Анализ зерен	83
3.8.23	Усреднение по строкам	85
3.8.24	Исправление искажений	85
3.8.25	Выделение зерен	86
3.8.26	Выделение границ	87
3.8.27	Линейные фильтры	87
3.8.28	Корреляции между изображениями	89
3.8.29	Определение персистентной длины	89
3.9	Анализ данных (Меню Операции)	90
3.9.1	Дублирование изображений	90
3.9.2	Построение 3x-мерных изображений	90
3.9.3	Преобразование Фурье	94
3.9.4	Построение гистограмм	95
3.9.5	Нахождение объектов	95
3.9.6	Ступенчатая структура поверхности	98
3.9.7	Преобразование кривых в сечения	102
3.9.8	Создание файла калибровки гистерезиса	102
3.9.9	Изменение разрешения	104
3.9.10	Вычисление площади участка поверхности	105
3.10	Работа с кривыми	105
3.10.1	Дифференцирование	105
3.10.2	Корреляция	105
3.10.3	Структурная функция	105
3.10.4	Построение гистограммы	106
3.10.5	Копирование кривой	106
3.10.6	Построение параметрической кривой	106
3.10.7	Обрезание кривой	106
3.10.8	Усреднение	106
3.10.9	Инвертирование	106
3.10.10	Увеличение резкости	106
3.10.11	Медианная фильтрация	107
3.10.12	Оптимизация шкалы	107
3.10.13	Выравнивание	107
3.10.14	Сплайн	108
3.10.15	Анализ шероховатости	108
3.10.16	Пороговая фильтрация	108
3.10.17	Анализ силовой кривой	109
3.11	Работа с буфером обмена	113
3.12	Отмена и восстановление изменений	113
3.13	Работа с окнами	114
3.13.1	Упорядочивание окон	114
3.13.2	Смещение окон	114
3.13.3	Выбор изображения	114
3.13.4	Изменений размеров окна	115
3.13.5	Восстановление размеров окна	115
3.13.6	Формат легенды	115

В	Конфигурация встроенного сервера ФемтоСкан	118
В.1	Настройка через Удаленный рабочий стол	118
В.2	Работа из Fmboard	119
В.3	Работа с панелью администратора в ФемтоСкан Онлайн	120
В.4	Управление через TELNET, PUTTY или консоль Fmboard	121
В.5	Сохранение настроек	123
С	Описание калибровочных констант	124
D	Формат файла калибровки температуры	133
E	Формат файла инициализации СОМ-порта	134
F	Параметры 3-х мерных изображений	137
G	Параметры шероховатости поверхности	139
G.1	R_a средняя шероховатость.	139
G.2	R_q среднеквадратичная шероховатость.	141
G.3	R_{max} наибольшая высота профиля.	141
G.4	R_z высота неровностей профиля по 10 точкам	141
G.5	S_m средний период.	141
G.6	S_{mh}, S_{ml} средние периоды по пикам и впадинам.	142
G.7	R_{sk} параметр асимметрии.	142
G.8	R_{ku} мера эксцесса	143

Глава 1

Введение

1.1 Установка СЗМ

Пакет программного обеспечения “ФемтоСкан Онлайн” предназначен для управления сканирующим зондовым микроскопом и обработки изображений зондовой, электронной и оптической микроскопии. Качество изображений, полученных на зондовом микроскопе, в первую очередь, зависит от того, насколько хорошо пользователь понимает физические принципы, лежащие в основе прибора, методы представления данных и алгоритмы, принятые в их обработке. Эти знания необходимы не только для настройки прибора, но и для корректной интерпретации результатов эксперимента, для их верной обработки. Поэтому в настоящем руководстве сначала будут даны некоторые основные понятия, знание которых необходимо для дальнейшей успешной работы.

1.1.1 Схема установки - вариант 1

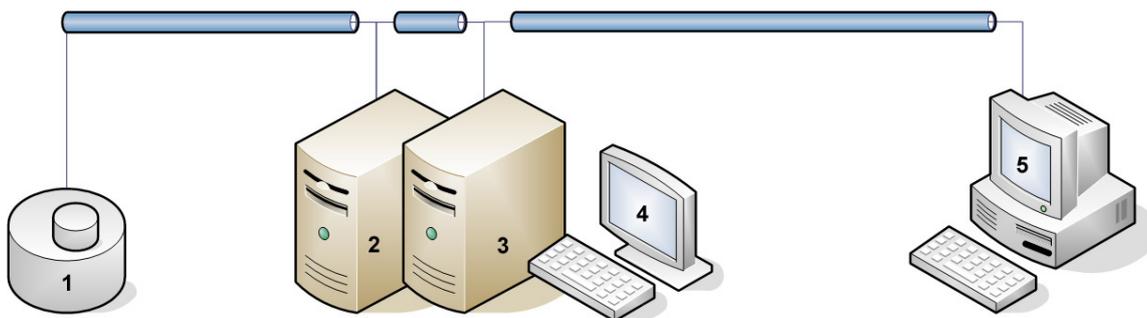


Рис. 1.1. Схема установки с отдельными блоками преобразователей и управления. 1 - микроскоп, 2 - блок преобразователей (ЦАП и АЦП), 3, 4 - блок управления (компьютер-сервер), 5 - компьютер удаленного пользователя.

Установка сканирующего зондового микроскопа состоит из нескольких функциональных блоков, изображенных на рис. 1.1. Это, во-первых, сам микроскоп, то есть его механическая часть, состоящая из пьезоманипулятора для управления положением образца, шагового двигателя для подвода образца и детектирующей головки. Вторая часть микроскопа — это блок аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей и высоковольтных усилителей. Третья — блок управления микроскопом, выполненный на базе персонального компьютера под

управлением операционной системы семейства Windows. В этом компьютере установлен специальный сигнальный процессор, рассчитывающий сигнал обратной связи в режиме реального времени. Вся работа с прибором может осуществляться с этого компьютера, непосредственно подсоединенного к микроскопу. Если же измерения проводятся удаленно, то задействован еще один компьютер с установленным клиентским интерфейсом (программой ФемтоСкан Онлайн).

1.1.2 Схема установки - вариант 2

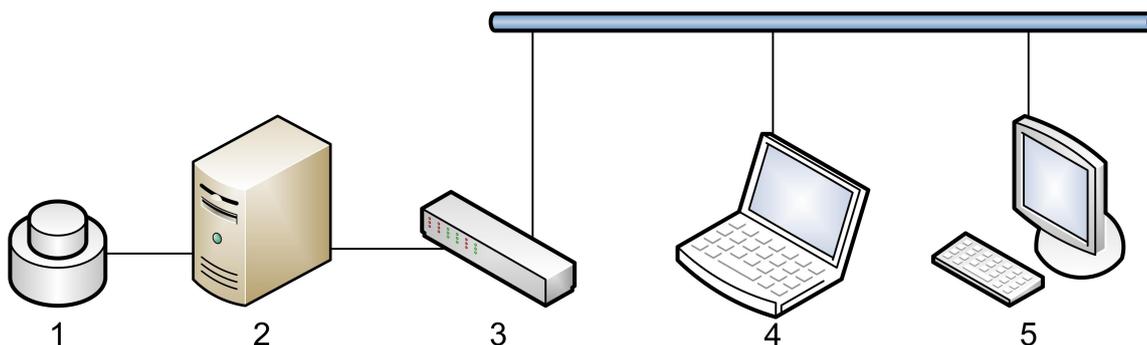


Рис. 1.2. Схема установки с интегрированным блоком управления. 1 - микроскоп, 2 - блок управления, 3 - сетевой коммутатор (опция), 4, 5 - компьютеры удаленных пользователей.

Установка сканирующего зондового микроскопа состоит из нескольких функциональных блоков, изображенных на рис. 1.2. Это, во-первых, сам микроскоп, то есть его механическая часть, состоящая из пьезоманипулятора для управления положением образца, шагового двигателя для подвода образца и детектирующей головки. Вторая часть микроскопа — это блок управления, содержащий в себе стабилизированный источник питания, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, высоковольтные усилители, встроенный компьютер. В этом компьютере установлен специальный сигнальный процессор, рассчитывающий сигнал обратной связи в режиме реального времени. Вся работа с прибором осуществляется с компьютера, подсоединенного к микроскопу по сети - напрямую или через коммутатор. Подключение через коммутатор дает возможность подключаться к прибору нескольким пользователям одновременно. Работа с прибором осуществляется через программу ФемтоСкан Онлайн.

1.1.3 Механическая система микроскопа

Общий вид механической системы микроскопа представлен на рис. 1.3. В механическую систему входит основание (в нем расположен пьезоманипулятор и система плавной подачи образца на шаговом двигателе с редуктором) и две съемные измерительные головки для работы в режимах сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии. Микроскоп позволяет получить устойчивое атомное разрешение на традиционных тестовых поверхностях без применения дополнительных сейсмических и акустических фильтров. В то же время, обычно при установке микроскопа принимают простейшие меры по минимизации сейсмических наводок. Например, для микроскопа лучше выбирать большой и массивный стол, под ножки которого рекомендуется подложить резиновые прокладки. Сам микроскоп иногда размещают на массивной каменной плите. И, разумеется, лучше не прикасаться к столу, на котором установлен микроскоп, во время сканирования. Блок-схема механической части представлена на рис. 1.4. Во время сканирования перемещение образца по вертикали (в направлении оси Z) и в плоскости XU осуществляется при помощи пьезотрубок, а при подводе и отводе, когда требуется



Рис. 1.3. Механическая система микроскопа ФемтоСкан.

сдвинуть образец на большое расстояние, работает шаговый двигатель. Основание микроскопа снабжено дополнительным терморегулятором, который при необходимости осуществляет контролируемый подогрев образца.

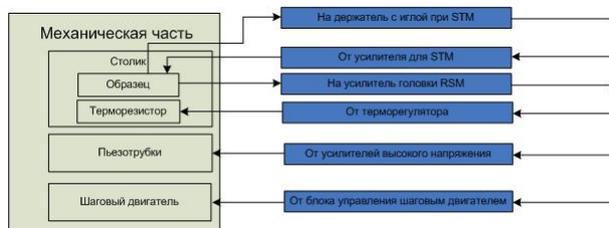


Рис. 1.4. Механическая часть микроскопа.



Рис. 1.5. Сканирующая головка для режима STM.

Блок-схемы сканирующих головок для туннельного микроскопа, АСМ, РАСМ и RSM представлены на рис. 1.5 и 1.6. В туннельном режиме измеряется ток, протекающий между образцом и иглой. Ток, проходящий через иглу усиливается и отправляется на коммутатор для дальнейшей обработки. Эта схема проста. Сложнее устроены другие сканирующие головки. Отдельно на рис. 1.7 представлена схема коммутатора. Он нужен для разделения сигналов различного типа и перенаправления их в блок АЦП. С коммутатора (см. рис. 1.8) сигнал попадает на предусилитель блока АЦП. На этом этапе из него генерируется профиль исследуемой поверхности, а после обработки в системе вычисления обратной связи он преобразуется в напряжение для управления пьезотрубкой во всех трех направлениях XYZ .

1.1.4 Структура программного обеспечения - вариант 1

Программное обеспечение работает в операционных системах семейства Windows.

Всю структуру программного обеспечения можно разделить на несколько уровней (рис. 1.9, 1.10). Самый нижний уровень — программа сигнального процессора платы DSP, установленной в блоке управления. Второй уровень — драйвер операционной системы, позволяющий обмениваться информацией с платой DSP через порты ввода-вывода. Третий уровень — сервер, обеспечивающий удаленное подключение, и, наконец, четвертый — клиентская программа, с которой работает пользователь. Такая структура обусловлена требованиями, предъявляемыми к системе: точная синхронизация процессов, высокая скорость передачи данных, поддержка сети, удобство использования. Синхронизацию обеспечивает плата DSP, большая скорость передачи данных достигается за счет отказа от стандартной схемы связи через медленные устройства передачи данных и установки интерфейсной DSP платы непосредственно на разь-

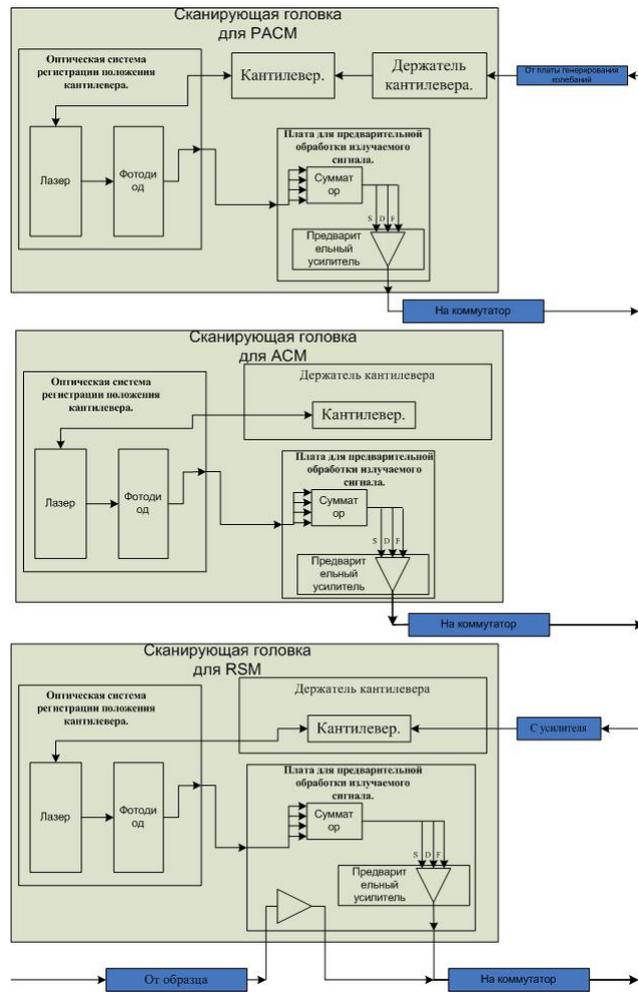


Рис. 1.6. Сканирующие головки для PACM, ACM и RSM.

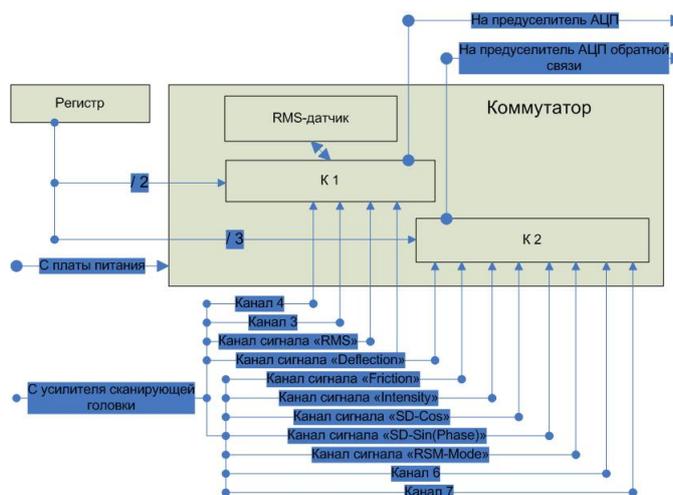


Рис. 1.7. Коммутатор.

еме материнской платы серверного компьютера. Сетевые возможности обеспечиваются введением структуры клиент - сервер, удобство дает использование наиболее распространенной операционной системы Windows.

Далее отдельные компоненты будут рассмотрены более подробно.

1.1.5 Программа платы DSP

Программа платы DSP формирует все управляющие сигналы для блока ЦАП-АЦП и шагового двигателя. Эти сигналы устанавливают значения ЦАПов, запускают преобразования цифровых значений в аналоговые и обратно, задают режим работы шагового двигателя, вызывают его запуск и остановку. Формирование сигналов определяется режимом сканирования и параметрами цепи обратной связи. В процессоре платы существует таймер, позволяющий осуществить точную синхронизацию процесса сканирования.

Значение измеряемого сигнала (туннельного тока, силы взаимодействия и пр.) поступает на АЦП и через усилитель передается в сигнальный процессор, который вычисляет сигнал обратной связи. Для вычисления сигнала обратной связи используется схема с пропорциональным и интегральным звеньями, модернизированная для применения усреднения сигнала бегущим окном. Значения измеряемого сигнала и сигнала обратной связи затем передаются в компьютер для последующей обработки.

То, что цепь обратной связи замыкается на уровне сигнального процессора, то есть процессор блока управления не участвует в ее вычислении, позволяет сделать обратную связь более устойчивой и независимой от работы блока управления. Что особенно важно, это дает возможность использовать для управления микроскопом современную многозадачную систему. Таким образом, на блоке управления лежит задача обработки и передачи данных, а плата DSP выполняет задачи, критические по времени.

Вычисленный сигнал обратной связи передается на z – манипулятор. Помимо этого, программа генерирует сигналы для перемещения образца по X и Y – координатам. Перемещение может осуществляться одновременно со снятием данных и накоплением их в буфере для последующей передачи в компьютер (режим сканирования), или без накопления данных (режим позиционирования). Также программа DSP платы с помощью шагового двигателя управляет перемещением столика с образцом. Этот режим используется при подводе и отводе зонда.

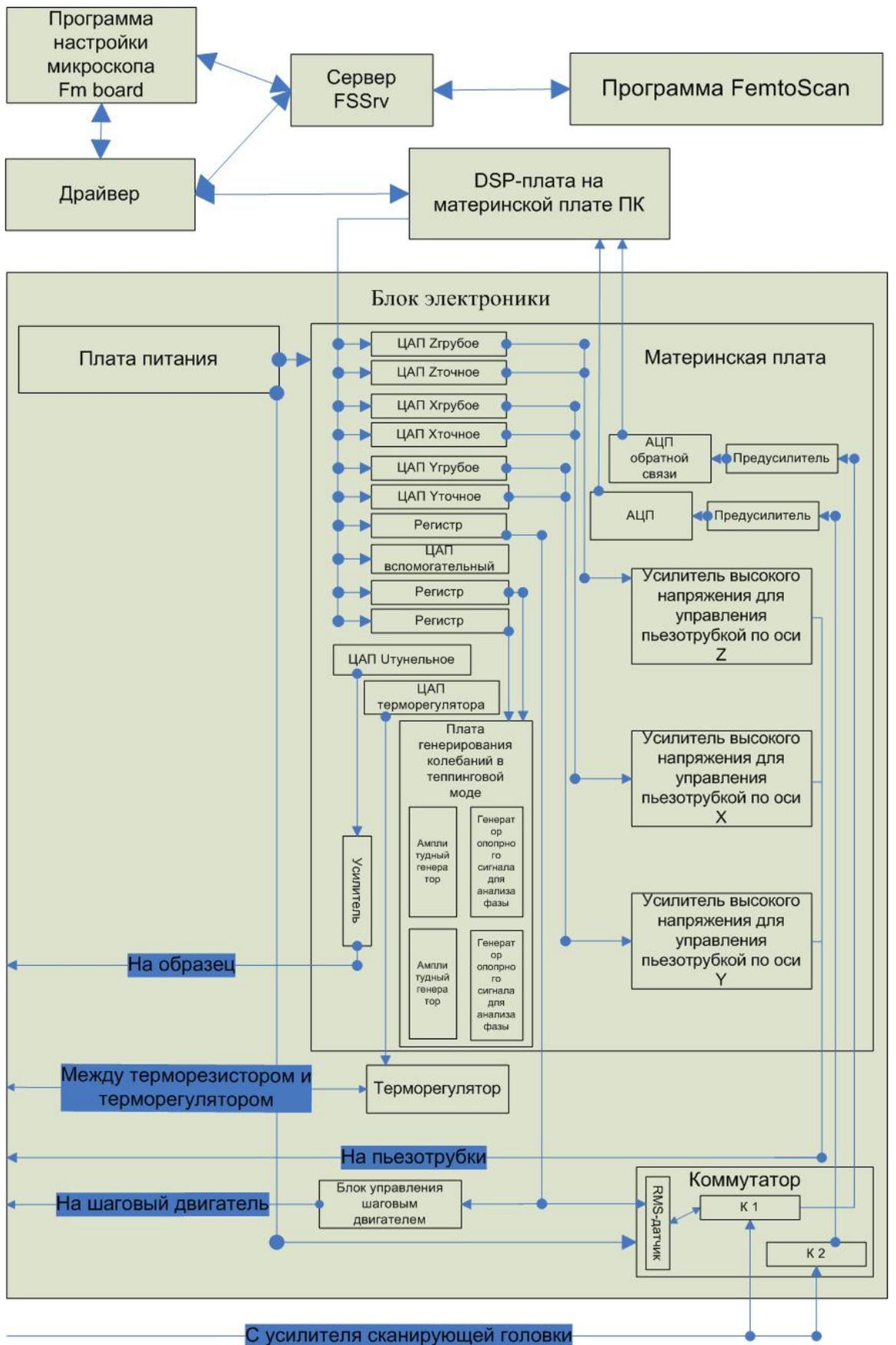


Рис. 1.8. Программное обеспечение, плата DSP и блок электроники.

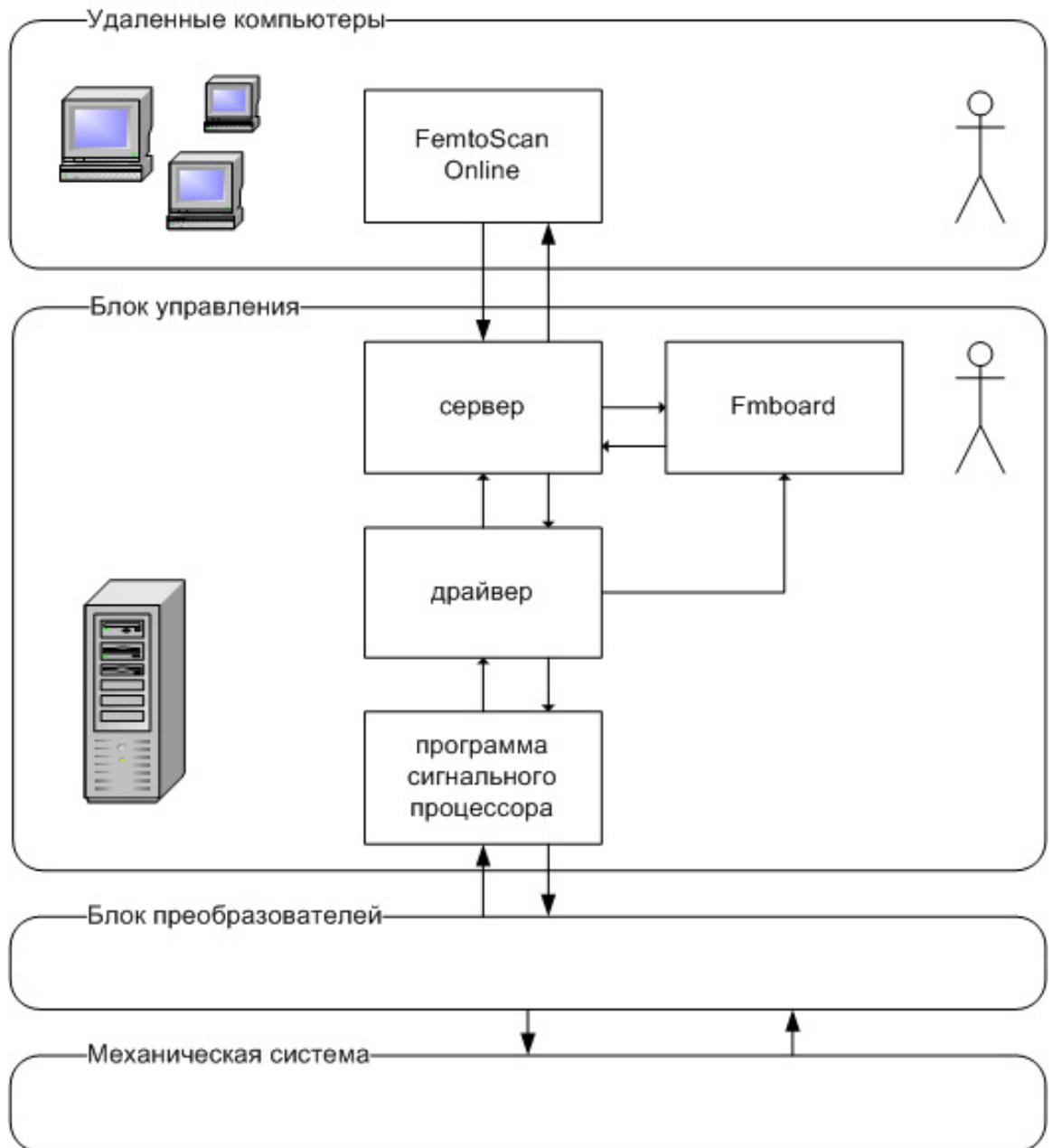


Рис. 1.9. Структура программного обеспечения – вариант 1.

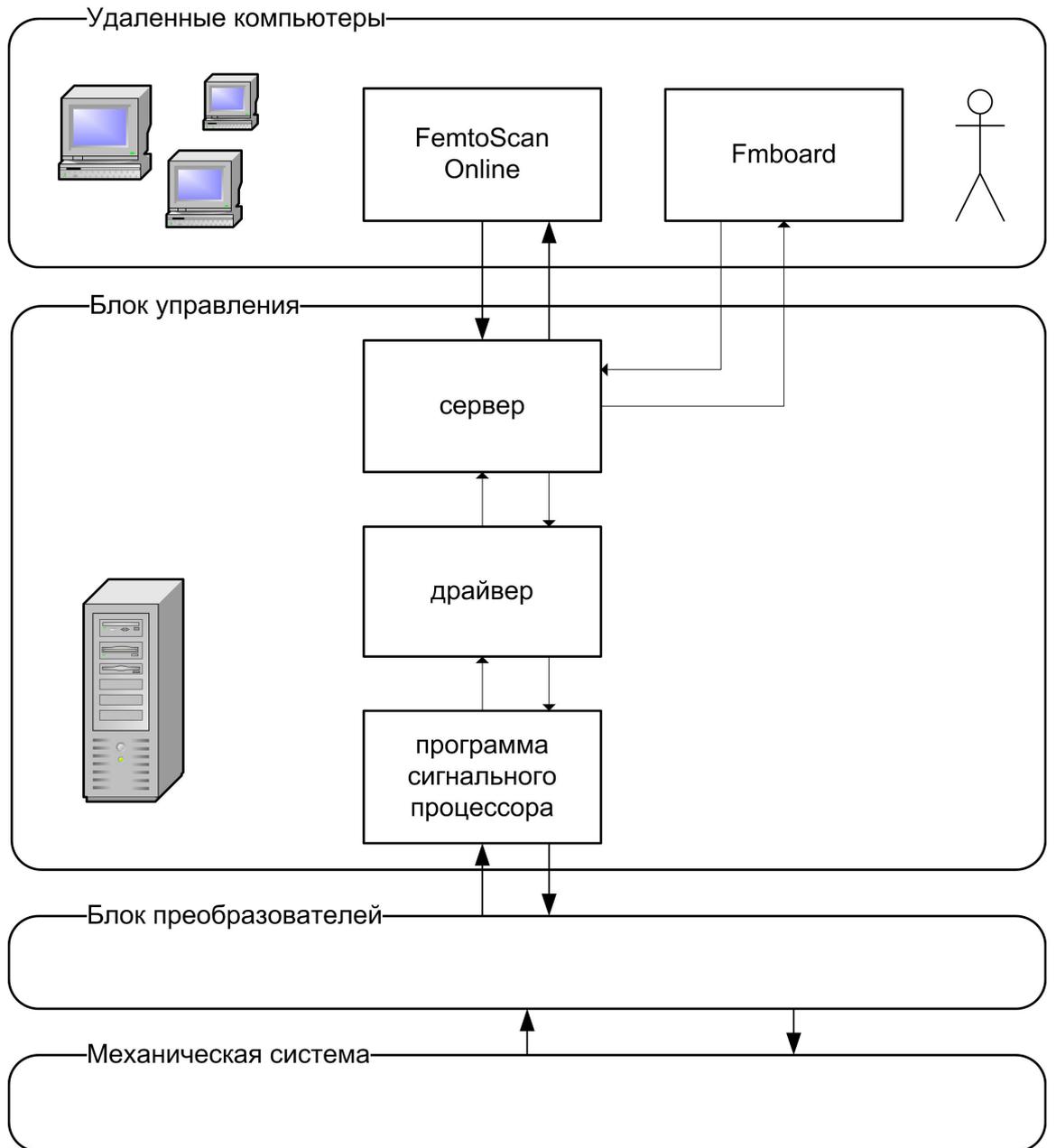


Рис. 1.10. Структура программного обеспечения – вариант 2.

Все параметры обратной связи, перемещений, адреса ЦАПов задаются путем установки значений переменных, хранимых в памяти сигнального процессора. Таким образом, настройка параметров сканирования производится изменением этих переменных, и микроскоп целиком может управляться с компьютера. Это позволяет автоматизировать процесс сканирования. А с использованием встроенных в программный пакет "ФемтоСкан Онлайн" сетевых технологий сканирование можно осуществлять даже с другого конца земного шара.

1.1.6 Драйвер операционной системы

Все общение между операционной системой блока управления и платой DSP производится через порты ввода-вывода. В операционной системе семейства Windows доступ к портам имеют только драйверы, работающие на уровне ядра операционной системы. По этой причине для работы с платой DSP необходим драйвер. Кроме того, при сканировании происходит быстрое заполнение буфера данных в плате DSP, и нужно периодически забирать эти данные, чтобы не происходила потеря информации. Так как программы, работающие на уровне пользователя операционной системы, сильно зависят от системных ресурсов, от количества одновременно работающих приложений, они не могут обеспечить нужной частоты и синхронности обращения к портам ввода-вывода.

Когда данные в плате DSP готовы для передачи, генерируется прерывание. В ответ на прерывание драйвер считывает блок информации и передает его серверу для дальнейшей обработки. В зависимости от режима сканирования возможны различные сценарии обработки прерывания. Информация фильтруется особым образом, чтобы исключить поток ненужных данных, что снижает загрузженность процессора блока управления.

1.1.7 Сервер

Серверная часть программного обеспечения является связующим звеном между драйвером операционной системы и клиентом (клиентами), т.е. конечным пользователем микроскопа. Это системная служба, автоматически запускаемая при старте операционной системы блока управления. Сервер обеспечивает своевременный прием данных от драйвера, их накопление и передачу клиентам. Для управления сервером существует специальное приложение Fmboard, позволяющее осуществлять мониторинг процесса сканирования, управлять перемещением столика с образцом, загружать программы в плату DSP. Изображение рабочего окна программы Fmboard представлено на рис. 1.11. Программа имеет окно осциллографа, на котором по выбору может отображаться значение опорного сигнала или сигнала обратной связи. В текущей версии программного обеспечения осциллограф отключен и показывает 0-й сигнал.

На сервере устанавливаются такие параметры, как скорость подвода столика с образцом, адресация ЦАПов, максимальное количество пользователей и некоторые другие. На каждого клиента заводится отдельный буфер данных, информация из которого считывается в асинхронном режиме. Сведения о текущих соединениях могут быть выведены в окно событий специальной командой.

Управлять микроскопом может только один пользователь. Для этого он подключается в режиме Мастер. Остальные пользователи только наблюдают за процессом сканирования (режим Клиент).

Если по каким-то причинам связь с клиентом нарушена, он автоматически отсоединяется от сервера. Это позволяет избежать переполнения внутреннего буфера данных. Отключение одного пользователя никак не влияет на работу других клиентов, что обеспечивается асинхронностью передачи данных.

Для нормальной работы сервера запуск программы мониторинга не обязателен, она нужна только для изменения калибровочных констант и других настроек.

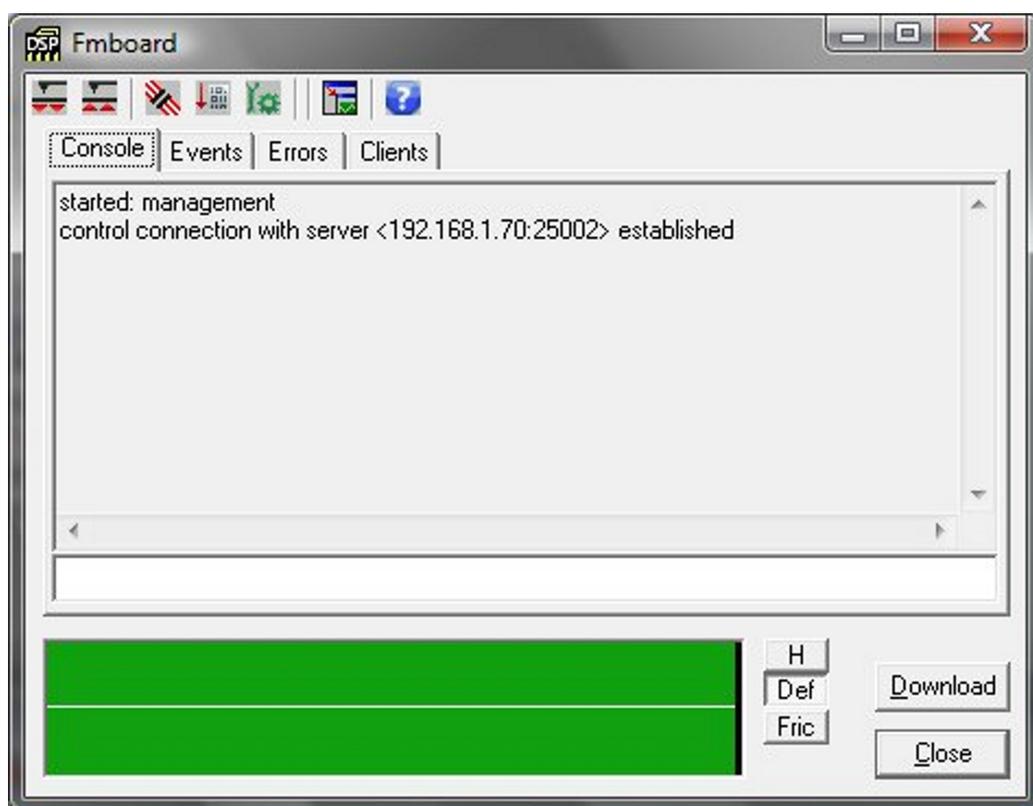


Рис. 1.11. Рабочее окно программы мониторинга сервера. Разработанный интерфейс позволяет контролировать работу микроскопа и собирать различную статистическую информацию о работе пользователей.

1.1.8 Клиент

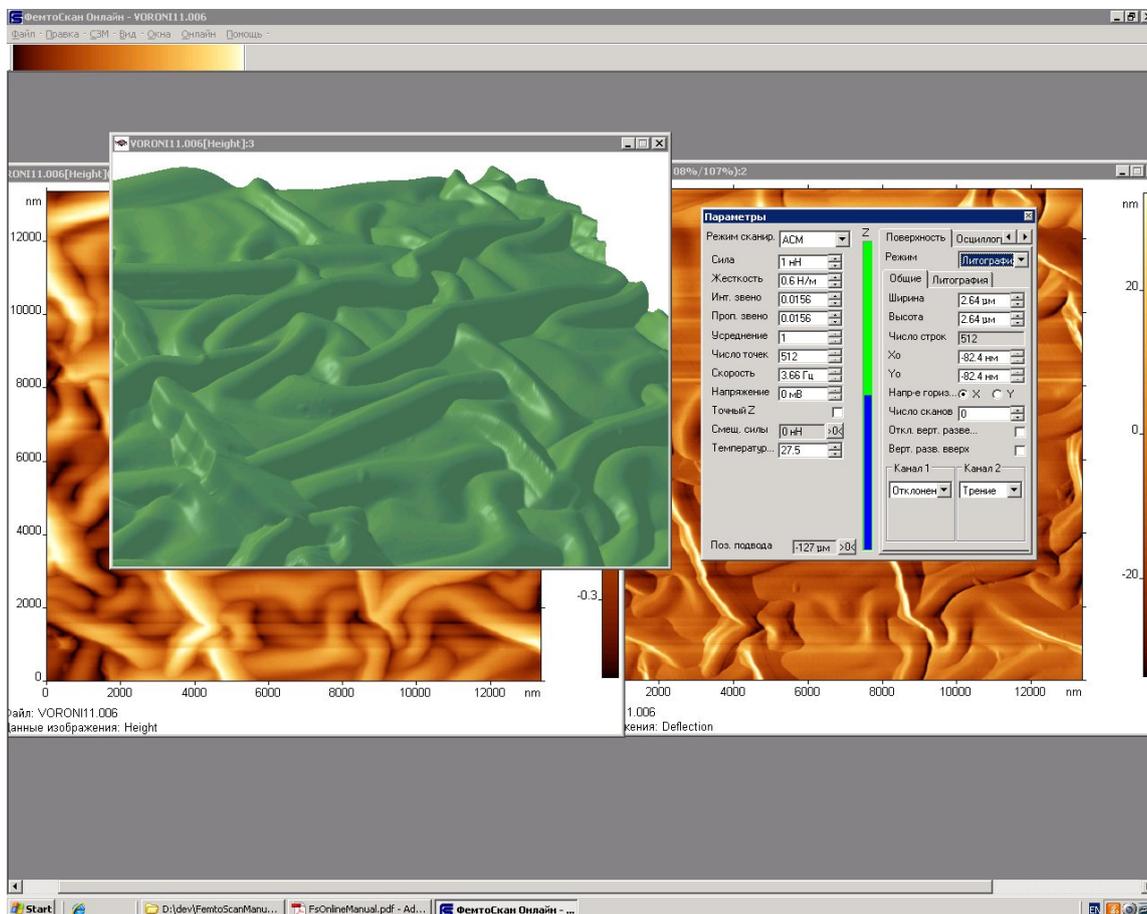


Рис. 1.12. Пользовательский интерфейс клиентской части программного обеспечения.

Программа-клиент — это программа, с которой работает пользователь. Ее разработке и совершенствованию было уделено особое внимание.

Программа запускается под операционными системами семейства Windows. Для соединения с сервером используется протокол TCP/IP, что позволяет подключаться к серверу не только по локальной сети, но и через Интернет.

Все параметры сканирования, заданные пользователем, передаются в сервер и далее — в микроскоп и другим пользователям, подключенным в режиме Клиент. После запуска процесса сканирования открываются окна, в которых в реальном режиме времени показываются результаты — получаемые изображения, их размеры, режим сканирования, параметры обратной связи, текущее положение зонда, скорость сканирования. Одновременно пользователь может обрабатывать полученные данные, используя широкий набор различных функций, включенных в состав программы. На рисунке 1.12 представлено изображение рабочего окна клиентской программы во время сканирования. Видны панели, отображающие текущие настройки, и окно со снимаемым изображением.

Программа-клиент имеет множество различных функций, предназначенных для обработки и анализа изображений зондовой микроскопии, а так же других изображений. С их помощью

исследователь может легко извлечь нужную ему информацию из полученных данных. Перечень реализованных функций представлен в таблице 1.1. Если некоторые последовательности операций выполняются часто, то их можно сгруппировать в отдельную макрокоманду, что значительно ускоряет работу.

Программа сохраняет изображения в оригинальном формате, позволяющем хранить в одном файле несколько изображений различного разрешения и размерности, а так же дополнительную служебную информацию. Кроме того, возможен экспорт файлов в один из стандартных графических форматов.

1.2 Методы построения и обработки изображений

При изучении свойств объектов методами сканирующей зондовой микроскопии основным результатом научного поиска являются, как правило, трехмерные изображения поверхности этих объектов. Адекватность интерпретации изображений зависит от квалификации специалиста. Вместе с тем, при обработке и построении изображений используется ряд традиционных приемов, о которых следует знать при анализе изображений.

Сканирующий зондовый микроскоп появился в момент интенсивного развития компьютерной техники. При записи трехмерных изображений в нем с самого начала были использованы цифровые методы хранения информации. Это привело к значительному удобству при анализе и обработке изображений, однако пришлось пожертвовать фотографическим качеством, присущим методам электронной микроскопии.

Информация, полученная с помощью зондового микроскопа, представляется в виде двумерной матрицы целых чисел. Каждое число в этой матрице, в зависимости от режима сканирования, может являться значением туннельного тока, или значением отклонения кантилевера, или значением какой-то более сложной функции. Таблица представляет собой трехмерные данные и если показать ее человеку, то никакого связного представления об исследуемой поверхности он получить не сможет. Итак, первая задача — преобразовать таблицу чисел в удобный для восприятия вид. Делается это следующим естественным образом.

Числа в исходной матрице лежат в некотором диапазоне, есть минимальное и максимальное значения. Этому диапазону целых чисел ставится в соответствие цветовая палитра. Таким образом, каждое значение матрицы отображается в точку определенного цвета на прямоугольном изображении. Для удобства восприятия точки, близкие по высоте, передаются сходными цветами. Строка и столбец, в которых находится это значение, становятся координатами точки. В результате мы получаем картину, на которой, например, высота поверхности передается цветом, как на географической карте. Но на картах обычно используются лишь десятки цветов, а на нашей картине их несколько сотен. Как правило используется палитра из 256 цветов.

Может оказаться, и, в целом, так всегда и бывает, что диапазон исходных значений больше, чем число возможных цветов. В этом случае происходит потеря информации, и увеличение количества цветов не является выходом из положения, так как возможности человеческого глаза ограничены. Требуется дополнительная обработка информации, причем в зависимости от поставленной задачи обработка должна быть разной. Кому-то необходимо увидеть всю картину целиком, а кто-то хочет рассмотреть детали. Для этого используются разнообразные методы, описанию которых посвящена следующая часть введения. В качестве примеров будут рассматриваться изображения, на которых цветом передается высота точки.

1.2.1 Вычитание среднего наклона

Полученные изображения часто имеют общий наклон, который может появляться по разным причинам. Это может быть реальный наклон поверхности; может быть температурный

Сервисные функции	Функции обработки данных	Операции с данными
Чтение файлов разных форматов Восстановление файла к первоначальному виду Сохранение файлов Удаление файлов Видеозахват Захват из источников TWAIN Сохранение изображений в формате BMP, JPEG, TIFF Экспорт текстовых данных Экспорт трехмерных изображений в формате VRML Групповой экспорт изображений в различные форматы Быстрый просмотр большого количества файлов Слайд-шоу Печать Просмотр текстового заголовка файла Создание макрокоманд Выбор произвольной цветовой палитры Выделение области привязки палитры Отмена последней операции Запись изображений и текстовой информации в папку обмена (clipboard)	Обрезание Инверсия Усреднение Увеличение резкости Фильтр Винера Медианная фильтрация Оптимизация шкалы Транспонирование Поворот на произвольный угол Выравнивание по меткам Выравнивание по выделенным участкам Выравнивание сплайном Сглаживание участка Анализ шероховатости Пороговая фильтрация Вычисление перепада высот по интерференционной картине Усреднение по строкам Исправление искажений Выделение зерен Выделение границ Линейные фильтры (градиенты разностной матрицей, матрицей Собеля и Превита, матрицы Лапласа и Гаусса) Морфологические фильтры Корреляционные функции	Построение сечений (так же со сложным профилем) Измерение расстояний Построение изолиний Измерение углов Измерение длин протяженных объектов Копирование выделенных областей в новое изображение Построение трехмерных изображений Фурье-анализ Построение гистограмм распределения по высоте Нахождение объектов Нахождение ступеней Построение калибровочных кривых Нахождение объема объекта, ограниченного изолинией Сложение и вычитание изображений Изменение разрешения Вычисление площади поверхности Репликация Подсветка (градиентное преобразование) Удвоение числа точек

Таблица 1.1. Функции, реализованные в клиентской части программного обеспечения.

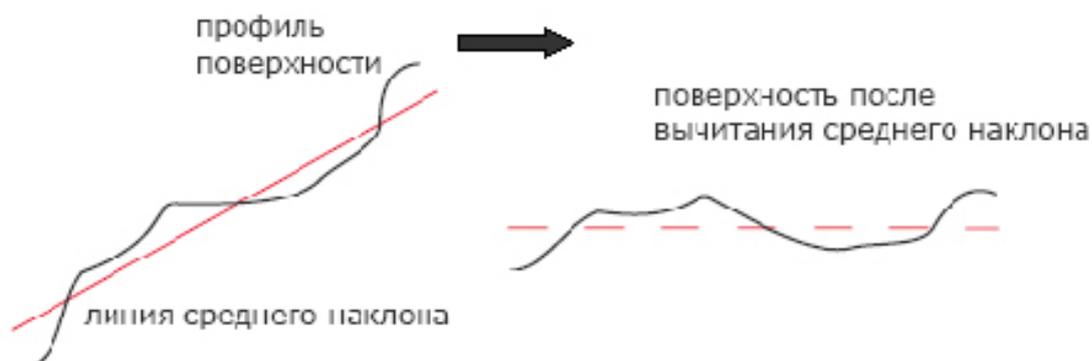


Рис. 1.13. Вычитание среднего наклона.

дрейф, который приводит к смещению образца во время сканирования; может быть проявление нелинейности пьезокерамического манипулятора. Как бы то ни было, появление общего наклона на изображении обычно мешает выявлению структуры объекта. Для того, чтобы избавиться от этого эффекта, из исходной матрицы значений вычитают плоскость среднего наклона. Поясним это на примере функции одной переменной (рис. 1.13). Пусть имеется график функции на котором по горизонтали отложены координаты точек вдоль направления строки, а по вертикали — высота поверхности в этих точках. Мы получили профиль строки. В этом случае линия общего наклона может быть найдена методом наименьших квадратов. После вычитания линии общего наклона получится новая функция, область значений которой, как видно, значительно уменьшилась.

Аналогичные методы применимы и для трехмерных изображений. В результате подобной обработки получается матрица с меньшим диапазоном значений и ее представление в палитре из 256 цветов становится более наглядным, мелкие детали отображаются большим количеством цветов и становятся более заметными. Нелинейность пьезоманипулятора может приводить также к тому, что изображение получается вогнутым. В этом случае нужно вычитать не плоскость, а поверхность второго порядка — параболическую или гиперболическую.

1.2.2 Усреднение

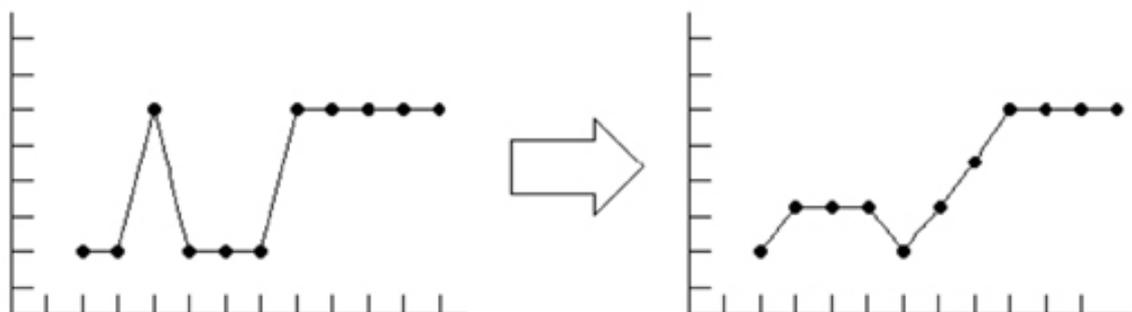


Рис. 1.14. Усреднение.

Помимо полезного сигнала на изображении всегда присутствует шумовая составляющая. Чтобы убрать ее, часто достаточно заменить значение в каждой точке средним арифметическим значений всех точек в некоторой ближайшей ее окрестности (рис. 1.14). Такой метод хорошо подходит для удаления шума с изображений крупных объектов.

В качестве наглядной иллюстрации к усреднению по окрестности снова рассмотрим функцию одной переменной, то есть строку со значениями. Построим график, на котором по горизонтали отложим координату точки, а по вертикали значения функции в точках (например, высоту поверхности). В результате получится профиль строки. На рис. 1.14 изображен этот профиль до и после фильтрации.

Если такая обработка не помогает — например, если уровень шумов сравним с уровнем сигнала — требуется применение более сложных методов. Можно попробовать выделить полезный сигнал, убрав высокочастотную составляющую исходного сигнала. Делается это при помощи Фурье-фильтрации.

1.2.3 Медианная фильтрация

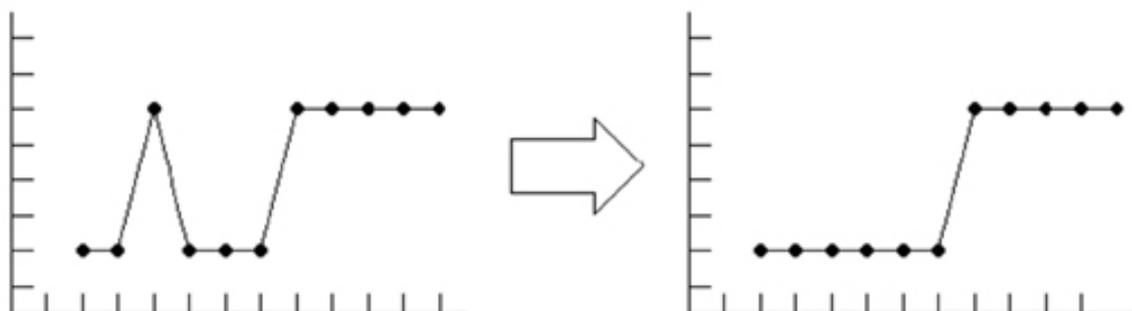


Рис. 1.15. Медианная фильтрация.

Хорошие результаты дает медианная фильтрация. Это нелинейный метод обработки изображений, позволяющий убрать резкие выбросы, но, в отличие от усреднения, сохраняющий ступеньки. Поясним этот метод примером. На рисунке 1.15, как и раньше, по горизонтали отложена координата точки, по вертикали - значение. Получается профиль строки. Для фильтруемой точки берутся значения ее соседей и заносятся в таблицу. Эта таблица сортируется по возрастанию, и за новое значение точки принимается значение из средней ячейки таблицы.

Таким образом, если в точке был выброс, то она оказывается на краю отсортированной таблицы и не попадает в отфильтрованное изображение. Ступеньки же остаются без изменения (рис. 1.15). Если сравнить усреднение и медианную фильтрацию, то легко заметить различия в конечных результатах (рис. 1.14, 1.15).

1.2.4 Усреднение по строкам

Изображения в сканирующей зондовой микроскопии формируются построчно. Естественным образом, появляется выделенное направление (направление формирования строки), вдоль которого изображение имеет характерные особенности. Дело в том, что сканирование строки происходит быстро, а при переходе с одной строки на другую проходит некоторое время. При этом может произойти сбой, и следующие строки окажутся резко сдвинутыми вверх или вниз. На изображении появляется горизонтальная ступенька, которой нет на реальной поверхности.

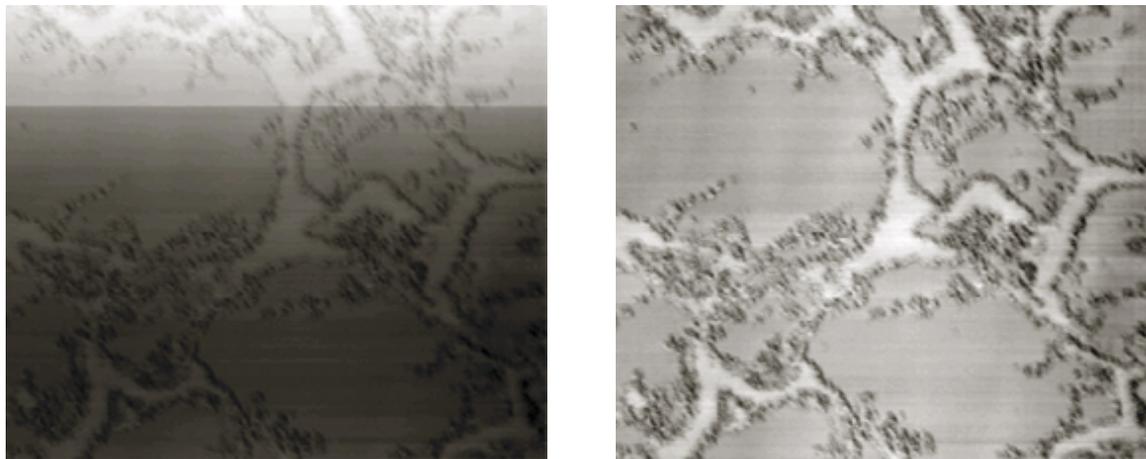


Рис. 1.16. Изображения многокомпонентной органической пленки. Слева — до усреднения по строкам; справа — после усреднения.

Чтобы убрать этот дефект, применяется усреднение по строкам. Все строки изображения сдвигаются вверх или вниз так, чтобы их средние значения были одинаковы. При этом профиль строки остается прежним, а профиль столбца меняется — исчезают ступеньки (рис. 1.16).

1.2.5 Подсветка

Человеческий глаз лучше различает контрастные предметы. Потому на изображении, где цветом передается высота, мелкие детали не заметны на фоне крупных объектов.

Есть способ совместить информацию о высоте объекта с информацией о высоте мелкой детали над его поверхностью. Представьте, что вы летите на самолете над горами. Вы ясно различаете все колуары и утесы, хотя по сравнению с самими вершинами перепад высот там совсем невелик. Это происходит благодаря игре света и тени. Если солнце в зените, то горизонтальные участки поверхности будут освещены сильнее, чем склоны. По величине тени мозг сам рассчитывает высоту объекта.

Таким образом, если смоделировать на изображении эффект освещения, то мелкие детали проявляются без потери информации о крупных объектах (рис. 1.17).

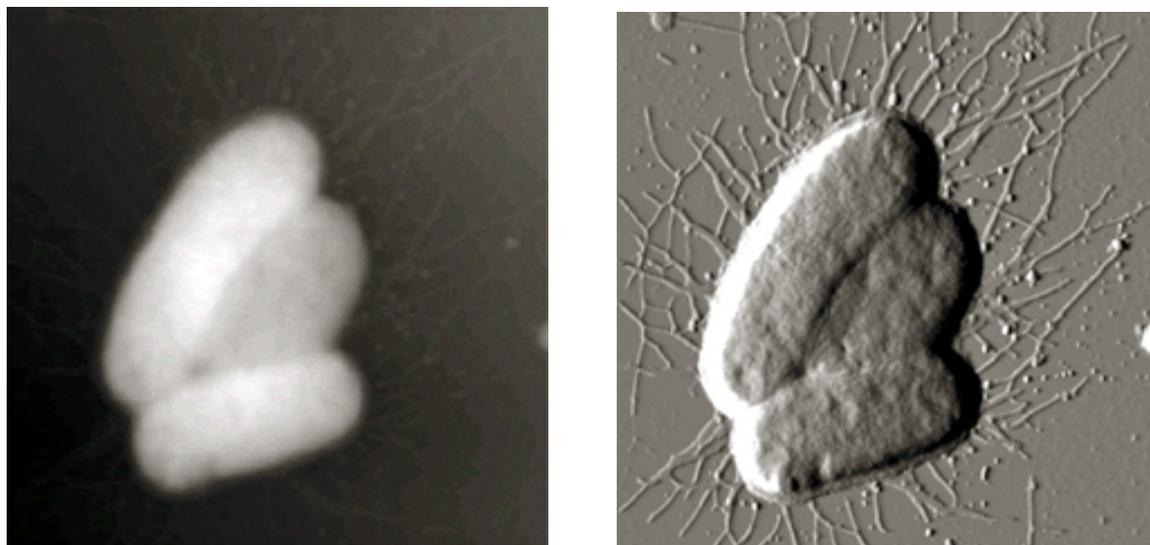


Рис. 1.17. Компьютерная обработка позволяет повысить контраст изображений. Слева — исходное изображение; справа — изображение с применением боковой подсветки. Исследуемый объект — бактерии *Escherichia coli* (кишечная палочка). Размер кадра $4,6 \times 4,6$ мкм².

Глава 2

Управление СЗМ

Для управления сканирующими зондовыми микроскопами серии ФемтоСкан используются Программы “ФемтоСкан Онлайн” и “Fmboard”. Fmboard — приложение для просмотра событий сервера, изменения профиля (профилей) микроскопа, администрирования пользователей. С его помощью можно управлять как микроскопом, который локально подсоединен к данному компьютеру, так и удаленным микроскопом.

Программа “ФемтоСкан Онлайн” — это клиент, осуществляющий управление микроскопом как на локальном, так и на удаленном приборе.

2.1 Сервер

Программа-сервер (файл fssrv.exe) является системной службой операционной системы блока управления, и запускается автоматически при ее старте. Для управления микроскопом с удаленного компьютера не обязательно входить в операционную систему блока управления. Для управления сервером и его настройками используется программа Fmboard (рис. 2.1), файл fmboard.exe. При минимизации окна программы она исчезает из списка задач, и остается только в виде значка  в system tray (системной панели, обычно расположенной в нижнем правом углу экрана). При двойном нажатии мышью на значок окно восстанавливается в первоначальном виде. Нажатием правой кнопки мыши на значке вызывается меню с командами, которые можно выполнить, не восстанавливая окно программы.

2.1.1 Программа мониторинга и настройки сервера Fmboard

В рабочем окне Fmboard расположены панель инструментов, консоль, окно сообщений, окно ошибок, окно со списком клиентов, осциллограф, кнопки загрузки DSP и выхода из программы (рис. 2.1).

При нажатии левой кнопкой мыши на иконку программы Fmboard в верхнем левом углу открывается основное меню. Кроме тривиальных операций в нем можно запустить тестирование памяти платы DSP, тестирование частотных генераторов и IRQ. Это диагностические программы, используемые при установке и первой настройке прибора, экспериментатор никогда не использует их в ходе работы. Так же в этом меню находится команда подключения к серверу Connect, доступная так же на панели инструментов. При выборе этой команды выводится окно для ввода IP-адреса или имени микроскопа (обычно вида FSxx где xx - номер прибора).

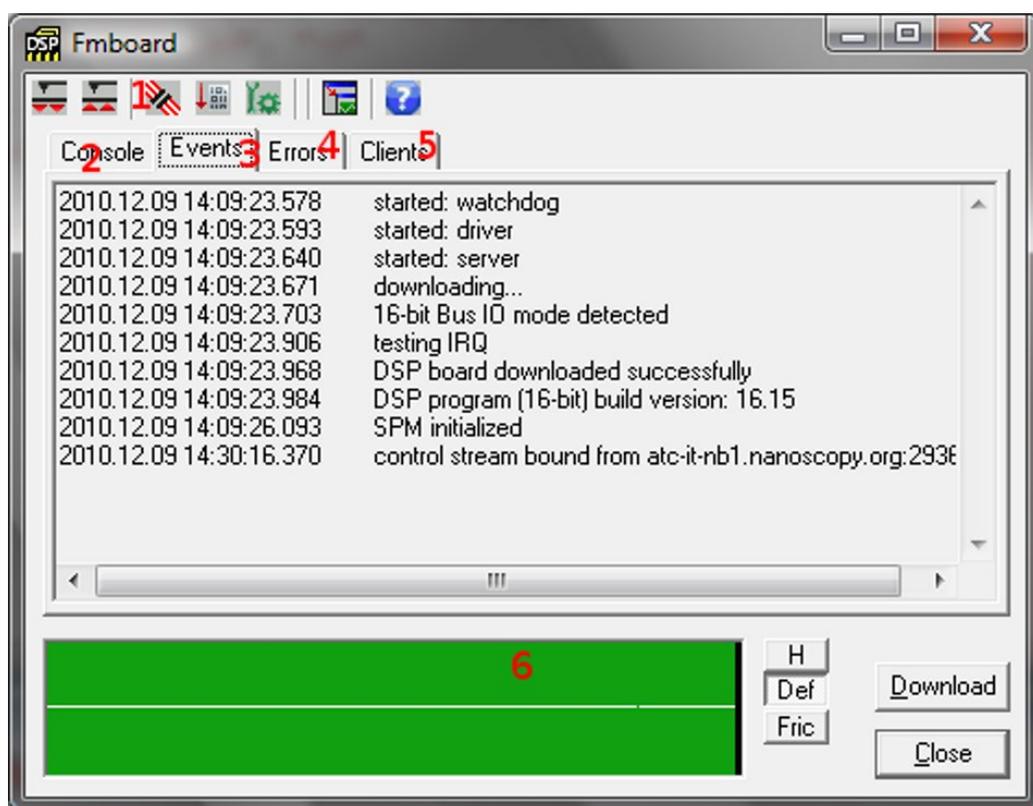


Рис. 2.1. Рабочее окно программы управления сервером Fmboard. 1 - панель инструментов, 2 - закладка консоли, 3 - закладка сообщений, 4 - закладка ошибок, 5 - закладка списка клиентов, 6 - осциллограф.



Рис. 2.2. Вид минимизированного окна программы Fmboard.

Панель инструментов

На панели инструментов находятся (слева направо): кнопки быстрого подвода и отвода столика, кнопка включения/выключения питания двигателя (если эта возможность включена в конфигурации), кнопка подключения к серверу, кнопка загрузки программы сигнального процессора, кнопка вызова окна конфигурации, кнопки контроля состояния системной службы (сервера), кнопка включения/выключения звука, кнопки громкости, кнопка сворачивания окна (в свернутом состоянии выводится только осциллограф и панель инструментов, заголовков окна уменьшен, окно располагается поверх всех остальных окон), кнопка вывода окна About (о программе).

При первоначальной установке образца оператор может выполнить быстрый подвод столика, чтобы ускорить процесс подвода. При нажатии на кнопку  столик с образцом начинает опускаться до тех пор, пока кнопка не будет нажата во второй раз. При этом следует визуально контролировать положение зонда во избежание его повреждения. Аналогично действует кнопка  для перемещения столика вверх. Использовать эти кнопки без особой необходимости не рекомендуется, поскольку это может привести к повреждению иглы и микроскопа. На практике перемещение столика редко осуществляется из программы Fmboard. Как правило, все операции такого рода производятся при помощи клиентской части программного обеспечения.

Кнопка  осуществляет перезагрузку программы платы DSP. При этом происходит калибровка АЦП, установка начальных значений ЦАПов и остановка текущего сканирования, но после загрузки все текущие параметры сканирования (положение пьезоманипуляторов, опорное значение тока, звенья обратной связи и т.п.), установленные клиентом, восстанавливаются. Выполнять эту операцию нужно при каждом включении блока преобразователей, а также при изменении параметров сервера.

Кнопка включения звука  выводит сигнал с осциллографа на звуковое устройство, установленное на компьютере, если таковое существует. При этом другие программы не смогут выводить звуковые сообщения. И обратно, если звуковое устройство уже занято другой программой, включение звука невозможно.

Кнопка сворачивания окна  позволяет во время сканирования видеть сигнал осциллографа и всегда иметь в доступности кнопки Fmboard'a, но в то же время не терять место на рабочем столе для размещения окна программы Fmboard целиком. Минимизированное окно (рис. 2.2). будет расположено поверх всех остальных открытых окон.

Окна сообщений

В окне сообщений Console выводится информация о состоянии программы в виде команд системной консоли. Внизу окна находится строка ввода команд. Полный список команд можно

получить, введя команду ? или help. Работа с системной консолью должна выполняться только опытным пользователем, прошедшим курс обучения работе с нею. Описание любой команды можно получить, набрав ? и имя команды, например, ? constant.

В окне сообщений Events выводится информация о состоянии микроскопа и всей истории текущего сеанса сканирования. На микроскопах с отдельными блоком преобразователей и блоком управления все сообщения хранятся в файле вида evt%y%m%d.log (%y%m%d — текущие год, месяц и число) в подкаталоге Logs инсталляционного каталога.

В окне Errors — информация об ошибках в работе микроскопа, например, о внезапном отключении пользователя при сбое в сети и т.п. На микроскопах с отдельными блоком преобразователей и блоком управления файл ошибок называется err%y%m.log и хранится так же в каталоге Logs. Вывод любого сообщения сопровождается звуковым сигналом. Настройку звуковых сигналов можно изменить через панель управления Windows, запустив приложение настройки звуков и аудиоустройств.

Список клиентов

В списке клиентов выводятся имена подсоединенных пользователей и величина заполнения буферов. Пользователи, подключенные в режиме Client, отображаются со значком ; в режиме Master — со значком . Выбрав одного или нескольких клиентов, по нажатию правой клавиши мыши можно отсоединить их от сервера или послать им сообщение. При переполнении буфера клиент отсоединяется автоматически.

Осциллограф

В окне осциллографа выводится по выбору сигнал обратной связи Н, сигнал ошибки обратной связи Def (АЦП 1) или сигнал Fric (АЦП 2). Выбор осуществляется при помощи кнопок, находящихся справа от окна. Сигнал, выводимый на осциллограф, автоматически масштабируется таким образом, что 0 находится в центре окна, весь сигнал умещается в окне осциллографа, положительные значения выводятся в верхнюю часть окна. В правой части окна осциллографа находится логарифмический 15-сегментный индикатор масштаба, каждый сегмент которого соответствует одному биту сигнала. Данные для осциллографа читаются непосредственно из драйвера, минуя сервер, это обеспечивает высокую скорость работы осциллографа. В текущей версии программного обеспечения осциллограф отключен.

Загрузка платы DSP

С помощью кнопки Download или кнопки  в любой момент можно выполнить загрузку программы в DSP. Эту операцию необходимо выполнять после каждого включения блока преобразователей, так как во время загрузки происходит установка начальных значений ЦАПов и калибровка АЦП. Загрузку не рекомендуется выполнять во время сканирования, т.к. это остановит текущее сканирование. После загрузки все текущие параметры сканирования (положение пьезоманипуляторов, опорное значение тока, звенья обратной связи и т.п.), установленные клиентом, сохраняются.

2.1.2 Конфигурация сервера

Окно конфигурации сервера можно вызвать нажатием кнопки  на панели инструментов, или нажатием левой кнопки мыши на значке программы в system tray и выбором команды Options, или выбрав эту команду из системного меню, которое появляется при нажатии на значок в левом верхнем углу окна программы. В окне конфигурации задаются значения, которые определяют правильное поведение сервера и верную интерпретацию данных, поэтому

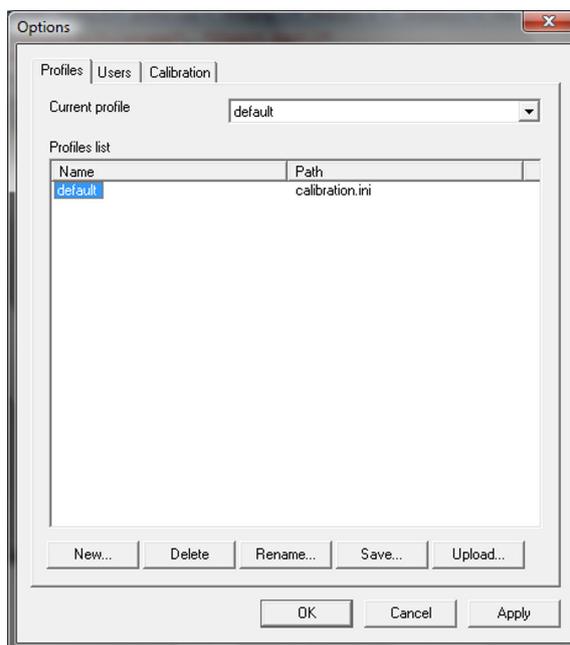


Рис. 2.3. Закладка управления профилями.

изменение этих значений рекомендуется только опытным пользователям. Внизу окна находятся три кнопки - Ok, Cancel и Apply. При нажатии на кнопку Apply происходит загрузка новой конфигурации сервера без закрытия окна настройки.

Профили

Набор калибровочных констант, присущих установленной механической части микроскопа и блоку преобразователей, называется профилем прибора. Профиль содержится в текстовом виде в файле с расширением .ini. При замене частей микроскопа, необходимо установить новый профиль, предоставленный производителем. Управление профилями производится на закладке Profiles окна конфигурации сервера (рис. 2.3). Первоначально список содержит только один профиль, установленный по умолчанию (default), он же установлен как текущий (Current). Для того, чтобы работать с другим профилем, его нужно добавить в список установленных профилей. Для этого можно пойти двумя путями. Первый вариант – нажав на кнопку New создать новый профиль (копию текущего), выбрать его текущим (в верхнем поле Current profile и изменить необходимые константы на закладке Calibration. Второй вариант – если у вас уже есть файл профиля, загрузить его на сервер с помощью кнопки Upload. Если при нажатии Upload не выбран ни один профиль, то будет создан новый, иначе - заменен файл выбранного профиля.

Так же на этой закладке можно переименовывать профили и удалять лишние. Можно так же сохранить файл профиля на диск для резервной копии.

Пользователи

Доступ к серверу определяется на основе определения принадлежности пользователя к одной из групп пользователей. По умолчанию, существует три группы пользователей – Администраторы, Пользователи и Гости. Если имя пользователя не присутствует ни в одной из

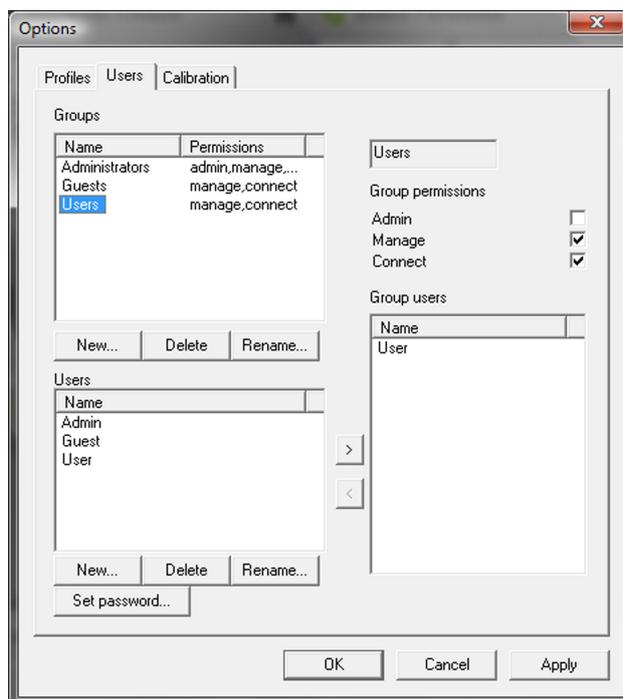


Рис. 2.4. Закладка управления пользователями.

групп, или он ввел неправильный пароль, то пользователь автоматически считается принадлежащим к группе гостей. Все пользователи одной группы имеют одинаковые привилегии, присвоенные этой группе. Существует три вида привилегий:

- **admin** — администрирование — позволяет подключаться в режиме **master** даже если уже есть клиент, подключенный в режиме **Master**. Позволяет изменять значения констант непосредственно из **ФемтоСкан Онлайн** через панель администратора.
- **manage** — управление — позволяет подключаться в режиме **Master** для управления микроскопом, если нет другого клиента, подключенного в этом режиме.
- **connect** — подсоединение — позволяет подключаться к микроскопу в режиме **Client** для получения изображений, но не дает права изменять параметры сканирования.

Управление группами и пользователями производится на закладке **Users** (рис. 2.4) окна конфигурации сервера. Для редактирования свойств конкретной группы используется правая часть закладки, состояние которой обновляется при смене выбранной группы.

В списке пользователей, принадлежащих группе, каждому пользователю присваивается пароль. Первоначально у всех пользователей пароль не задан; его определяет оператор сервера и сообщает клиентам, чтобы они могли использовать этот пароль при подключении к микроскопу. Сменить пароль можно нажав на кнопку **Reset password**.

Общая калибровка

Закладка **Calibration** (рис. 2.5) позволяет редактировать основные параметры микроскопа и приводить конфигурацию программного обеспечения в соответствие с аппаратной конфи-

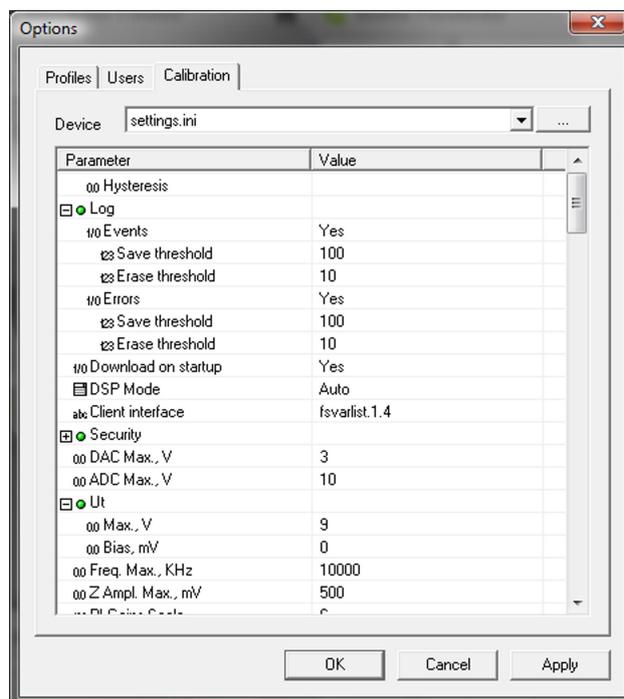


Рис. 2.5. Закладка калибровочных констант.

гурацией. Набор параметров, определяющих конфигурацию программы, содержится в файле `settings.ini`. Путь к этому файлу задается в верхней части закладки в элементе `Variables`. Остальную часть закладки занимает таблица, в которой можно редактировать значения констант, содержащихся в файле профиля прибора (см. 2.1.2). Калибровочные константы задают параметры микроскопа, позволяющие преобразовать цифровые значения в реальные величины — вольты, нанометры, амперы и т.д. Также в таблице присутствуют значения, определяющие наличие или отсутствие некоторых опциональных компонент микроскопа, и задающие режимы его работы. По нажатию клавиши `Ok` или `Apply` значения констант будут записаны в файл текущего профиля, а если выбран профиль `default`, то в файл `calibration.ini`. Одновременно будет перезагружена конфигурация сервера путем послыки команды консоли `reload`.

Подробное описание констант приведено в приложении С. При работе в штатном режиме используется только малая часть настроек.

- **Download on startup** При подключении к микроскопу загрузка программы в плату DSP (Download) может происходить автоматически. Для этого значение данного параметра нужно изменить на `Yes`. Это удобно при удаленной работе на микроскопе, когда нет доступа к серверу.
- **Security** Эта группа закладок отвечает за шифрование при передаче данных от сервера к клиенту. По умолчанию значение параметра `Encryption` установлено `Disable`, то есть шифрование отключено. Рекомендуется включить шифрование если данные передаются за пределы локальной сети.
- **Precise XY DACs** При работе на маленьком поле сканирования, микроскоп может автоматически переходить в режим более высокого разрешения в плоскости XY. Для этого

задействуются специальные усилители. По умолчанию эта функция включена, значение параметра установлено *Precise*, но в некоторых ситуациях она может мешать работе. Из-за смены схемы позиционирования приближенный кадр часто оказывается расположен не там где Вы хотели, а заметно сдвинут. Если точность кадрирования важнее разрешения в плоскости XY, то рекомендуется отключить эту функцию (*Disabled*).

- **Resistance / Mode** Этот параметр определяет тип схемы, по которой регистрируется сопротивление при работе в резистивном режиме: с делителем или без него.
- **AFM / Cantilever Rigidity** Этот параметр позволяет установить точное значение жесткости кантилевера, предоставленное производителем. Это нужно делать, если требуется точно измерить величину сил, снять силовые кривые. При обычной работе в режиме топографии устанавливать точные значения жесткости кантилевера не обязательно.
- **Landing / Draw Back on Every Step** Если значение этого параметра установлено *Draw*, то при подводе микроскоп будет после каждого шага двигателя при помощи пьезотрубки проверять нет ли рядом с иглой поверхности. Режим деликатного подвода можно рекомендовать при работе с суперострыми кантилеверами.
- **Network** Параметры этой группы позволяют настраивать порты для сетевого подключения, ограничивать максимальное количество пользователей.
- **Watchdog** Для интегрированного блока управления есть возможность задать сторожевой таймер. При использовании таймера если сервер зависнет, то он будет автоматически перезагружен в течении указанного в настройках таймера времени.

Помните, что изменение значений некоторых параметров может привести к потере работоспособности микроскопа! Это в первую очередь относится к параметрам в группах DACs, STM, AFM, RAFM, DSP Timing, Stepper.

2.2 Клиент

Все управление микроскопом можно производить с помощью клиентской части программного обеспечения (программа **ФемтоСкан Онлайн**, файл *femtoscan.exe*). В ней устанавливаются все параметры сканирования, из этой программы подаются все команды по запуску и остановке сканирования, подводу и отводу столика с образцом. В принципе, процесс сканирования не требует интерактивной работы с сервером, что позволяет управлять микроскопом через сеть с удаленного компьютера.

Для управления микроскопом предназначены команды меню СЗМ и кнопки панели инструментов СЗМ. Если панель отсутствует, ее можно отобразить поставив галочку слева от поля *Toolbar* в меню СЗМ.

2.2.1 Подключение к серверу

Для подключения выберите в меню СЗМ команду **Подсоединиться Мастером** (кнопка ) или **Подсоединиться Клиентом** (кнопка ). Подключение в режиме Мастер возможно, только если к микроскопу не подключен другой Мастер.

В начале подключения перед вами появится окно, показанное на рис. 2.6. В этом окне нужно указать адрес сервера и ввести некоторые дополнительные данные.

Когда сервер находится на этом же компьютере, достаточно поставить галочку напротив “Локальный компьютер” и переходить к заполнению остальных полей. Если же сервер расположен в другом месте, то нужно снять галочку напротив “Локальный компьютер”, после чего

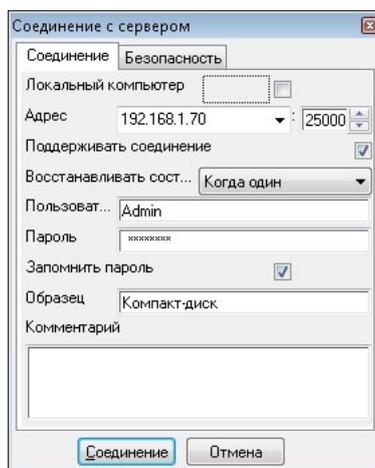


Рис. 2.6. Окно подключения к серверу

появится поле “Адрес”, в котором вы должны написать его адрес. Адресом могут быть имя компьютера в локальной сети Microsoft Windows Network (например, COMP145), его URL (например, mусomр.mydomain.ru) или IP адрес (например, 123.132.231.213). В следующем поле (после двоеточия) необходимо указать порт, по которому выполняется подключение (25000 по умолчанию, если оператор сервера не изменил его).

Чтобы при потере соединения программа автоматически подсоединялась снова, отметьте поле “Поддерживать соединение”.

Если поставить значение поля “Восстанавливать состояние” в значение, отличное от “Никогда”, то после подсоединения программа будет устанавливать значения параметров микроскопа, которые использовались при последнем подключении Мастером.

В полях “Образец” и находящемся под ним полем для комментариев указывается информация, которая будет отображена в заголовках файлов, полученных при сканировании. В поле Образец рекомендуется указывать название исследуемого образца — это название окажется в именах получаемых файлов. В поле “Пользователь” нужно указать свое имя. Имя и пароль используются для аутентификации на сервере (раздел 2.1.2). Во время сканирования можно изменять введенное имя, название образца и текст поля комментария. Как это сделать, написано в разделе 2.2.11.

На закладке Безопасность задаются параметры шифрования соединения. Можно отключить шифрование совсем, использовать параметры сервера или установить свои собственные (параметры клиента). В случае, если выбран вариант “Назначить параметры клиента”, на сервере должно стоять либо “Accept Client Parameters”, либо “Force Server Parameters” с аналогичным набором параметров шифрования. При соединении будет сгенерирован ключ текущей сессии, и все передаваемые данные будут шифроваться по выбранному алгоритму.

Если при аутентификации окажется, что пользователь не зарегистрирован ни в одной группе, или не совпадет пароль, он будет автоматически причислен к группе гостей (если эта группа не отключена), и будет выведено соответствующее предупреждение. Шифрование в этом случае будет менее безопасным — ключ сессии будет передаваться в незащищенном виде.

Закончив заполнение полей окна подключения к серверу, нажмите ОК. После этого осуществляется подключение к серверу. В случае если указан неправильный адрес, подключения не произойдет, и кнопки Клиент и Мастер на панели инструментов СЗМ останутся отжатыми. Если производится подключение в режиме Мастер, а к серверу уже подключен один Master,

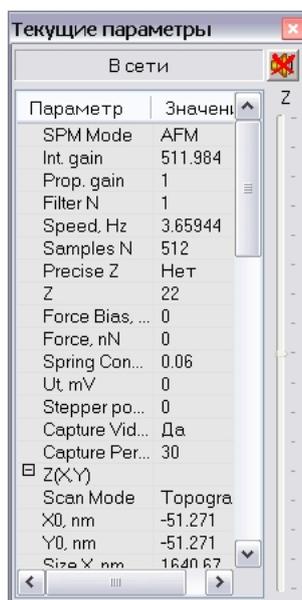


Рис. 2.7. Текущие параметры сканирования

то произойдет подключение в режиме Клиент. При этом нажатой окажется только кнопка Клиент. При успешном подключении в режиме Мастер, нажатыми будут обе кнопки.

При подключении в режиме Клиент будет показано окно текущих параметров сканирования (рис. 2.7), предназначенное только для наблюдения. В режиме Мастер будет вызвано окно настройки параметров сканирования, позволяющее изменять параметры (рис. 2.9). После удачного подключения к серверу можно начинать сканирование, но предварительно следует задать параметры цепи обратной связи и некоторые другие.

2.2.2 Выбор профиля

Если на микроскопе установлено несколько профилей оборудования, то можно выбрать нужный профиль выполнив команду меню СЗМ/Выбрать профиль. Если установлена опция “Восстанавливать состояние” в значение, отличное от “Никогда”, то последний использованный профиль будет назначен автоматически. Если профиль микроскопа только один, то команда выбора профиля будет недоступна.

2.2.3 Панель администратора

Если пользователь принадлежит к группе администраторов микроскопа, то он может менять параметры калибровки. В меню СЗМ в таком случае становится доступной команда “Показать панель Администратора” (рис. 2.8). При выборе этой команды отображается окно с текущими настройками профиля. Можно поменять любые значения и назначить файлы калибровки гистерезиса и температуры. Новые значения предаются на сервер после нажатия кнопки “Применить”. Пока значения не переданы на сервер, их можно отменить, отсоединившись от микроскопа.

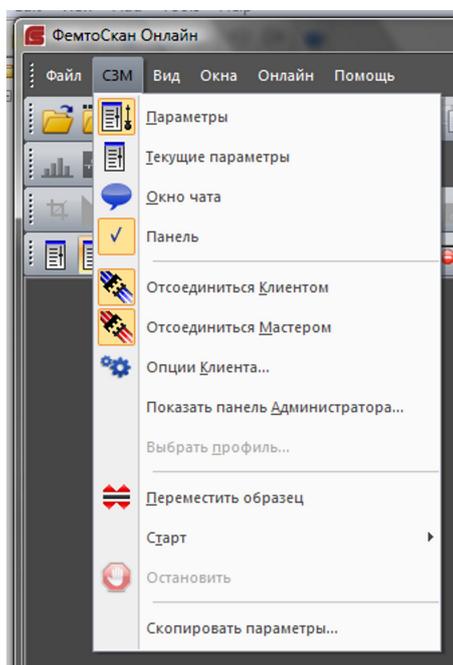


Рис. 2.8. Меню СЗМ.

2.2.4 Параметры сканирования

Все параметры сканирования задаются в окне Параметры (рис. 2.9). Когда Вы подключаетесь как Мастер, то программа автоматически открывает это окно. Если окна по какой-то причине нет, его можно вызвать нажатием кнопки  на панели инструментов или командой меню СЗМ/ Параметры. Все задаваемые параметры автоматически проверяются и уточняются программой в соответствии с калибровочными константами, полученными с сервера. Поэтому, если подключения к серверу не произошло, то значения могут не соответствовать реальным. Если открыть окно параметров до подключения к серверу, то интерфейс окна параметров не будет приведен в соответствие со списком переменных сервера, и окно параметров будет выглядеть нечитаемо.

Изменять параметры можно двумя способами. Можно вручную вводить значения параметров в поля таблицы, для того, чтобы изменения вступили в силу, после этого необходимо нажать клавишу ввод ("Enter"). Если окажется, что введенное значение недопустимо, оно будет заменено на ближайшее из возможных. Другой способ — выделив поле со значением параметра плавно увеличивать или уменьшать его значения нажимая на кнопки со стрелками. В этом случае значения параметра при каждом нажатии на клавишу изменяются на минимальную возможную величину, проверяются на истинность и передаются серверу автоматически. В поле рядом с каждой величиной при ее изменении автоматически корректируется и множитель при единицах измерения.

Программа "ФемтоСкан Онлайн" позволяет управлять сканированием в различных режимах, в зависимости от параметров сервера. Стандартные режимы включают в себя туннельный (СТМ), атомно-силовой (АСМ) и резонансный атомно-силовой (РАСМ). Для указания режима сканирования предназначено поле Режим, расположенное в верхней левой части окна Параметры.

В левой части окна собраны основные настройки, используемые во всех режимах работы

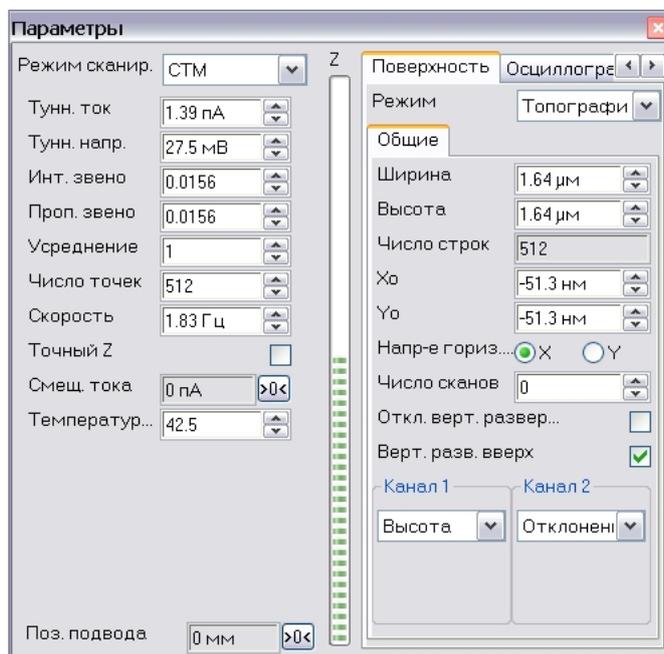


Рис. 2.9. Параметры сканирования. Режим СТМ.

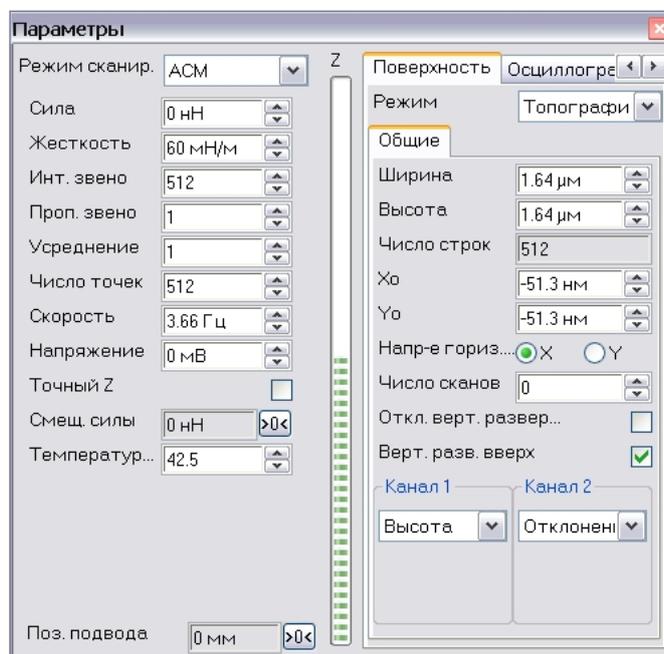


Рис. 2.10. Параметры сканирования. Режим АСМ.

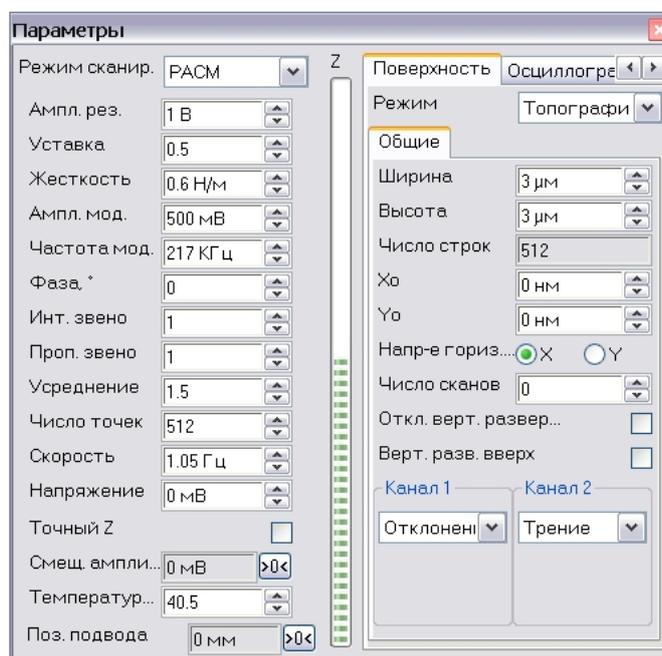


Рис. 2.11. Параметры сканирования. Режим RASM.

прибора: в топографии поверхности, при подводе, снятие кривых зависимостей и др.

- Тунн. ток — опорное значение туннельного тока при сканировании в режиме СТМ. В каждом конкретном эксперименте очень важно выбрать его правильно. Для некоторых известных поверхностей в таблице ХХХ приведены рекомендуемые значения туннельного тока. Если же Вы сканируете уникальный образец, то в качестве начальной установки можно попробовать ток 1 нА.
- Тунн. напр. — напряжение на туннельном переходе при сканировании в режиме СТМ. Это опорное значение для системы обратной связи, в каждом конкретном случае очень важно выбрать его правильно. Для некоторых известных поверхностей в таблице ХХХ приведены рекомендуемые значения туннельного напряжения. Если же Вы сканируете уникальный образец, то в качестве начальной установки можно попробовать напряжение 50 мВ.
- Сила — опорное значение силы взаимодействия между поверхностью образца и кантилевером в режиме АСМ. Выбирать значение силы в каждом конкретном случае лучше всего по данным силовой кривой, снятой именно этой иглой над поверхностью данного образца. Тем не менее, существуют и общие рекомендации. Как правило необходимо сканировать с малой силой воздействия. Для этого в свободном состоянии иглы фотодиод настраивают так, чтобы лучик лазера попадал ниже его центра. При этом значение силы будет отрицательным. Для подвода выбирают силу равную нулю. Если при таком значении силы не удастся получить достаточно четкое изображение, то силу постепенно увеличивают, добиваясь удовлетворительного качества картинки.
- Жесткость — точное значение жесткости кантилевера. Этот параметр также задается в

настройках сервера (см. раздел 2.1.2). Точное задание жесткости не требуется при работе в режиме топографии, оно необходимо только для регистрации сил, например, если Вас интересуют точные числовые значения при снятии зависимостей.

- Ампл. рез. — значение, к которому будет подгоняться величина резонанса при настройке свободных колебаний кантилевера в режиме резонансной АСМ (РАСМ). Измеряется в Вольтах, чем больше значение, тем больше будет амплитуда колебаний в нм. Рекомендованное начальное значение — 2000 мВ.
- Уставка — коэффициент, с помощью которого вычисляется опорное значение сигнала обратной связи в режиме РАСМ. В англоязычной литературе для этого параметра принято название *Setpoint*. При сканировании возникает кратковременный контакт колеблющегося кантилевера с образцом. Из-за этого амплитуда колебаний падает, но она не должна уменьшиться слишком сильно — это будет означать, что зонд врезался в поверхность. Рабочая амплитуда должна составлять некоторый процент от амплитуды колебаний кантилевера в свободном состоянии. Опорное значение сигнала обратной связи вычисляется по формуле $Defl_{sp} = Defl * Setpoint$. Оно соответствует тому относительному изменению амплитуды колебаний кантилевера, которое интерпретируется как возникновении контакта с поверхностью образца. Рекомендованное начальное значение — 0,9. Если качество картинки при этом неудовлетворительное, то величину уставки надо постепенно понижать с шагом 0,1.
- Ампл. мод. — амплитуда возбуждающих колебаний пьезокерамики в режиме РАСМ. От значения этого параметра зависит амплитуда колебаний кантилевера в свободном состоянии. Чем больше амплитуда моделирующих колебаний, тем больше и амплитуда колебаний савмого кантилевера. Таким образом этот параметр оказывается связан с Ампл.рез. и изменение одного из них ... XXX. Рекомендованное начальное значение этого параметра не более 100 мВ.
- Частота мод. — частота возбуждающих колебаний пьезокерамики в режиме РАСМ. Она, как правило, должна совпадать с резонансной частотой кантилевера.
- Фаза — фазовое смещение опорного сигнала фазового детектора в режиме РАСМ. Калибровку фазы можно проводить при настройке на резонанс. Для этого параметр изменяется вручную до тех пор, пока фаза в резонансе не станет равна нулю.
- Инт. звено — интегральное звено цепи обратной связи. Методология настройки звеньев обратной связи подробно дана в описании к прибору. Как правило, при работе в режимах АСМ и РАСМ можно первоначально установить интегральное звено равное 1 и затем скорректировать по данным осциллографа (отработка ступени), или непосредственно по результатам сканирования поверхности. При малых значениях интегрального звена контуры ступеней и объектов на поверхности выглядят сглаженными.
- Проп. звено — пропорциональное звено цепи обратной связи. Методология настройки звеньев обратной связи подробно дана в описании к прибору. Как правило, при работе в режимах АСМ и РАСМ можно первоначально установить пропорциональное звено равное 1 и затем скорректировать по данным осциллографа по отработке ступени, или непосредственно по результатам сканирования поверхности. При слишком больших значениях пропорционального звена рядом с контурами ступеней и объектов появляются затухающие „тени“ — результат генерации колебаний в цепи обратной связи.

При работе в СТМ на достаточно больших токах лучше ставить как можно меньшие значения обоих звеньев обратной связи. При работе с малыми токами приходится ставить большие значения звеньев обратной связи для усиления сигнала.

- Усреднение — коэффициент, определяющий вклад нескольких измеренных значений напряжения при определении значения в данной точке образца. Микроскоп замеряет величину сигнала постоянно, вне зависимости от установленной пользователем скорости сканирования. Частота собственной развертки 15 КГц, то есть при скорости сканирования в 1 Гц на одну точку приходится 30 реальных измерений. Это дает возможность усреднять сигнал для получения более объективных данных. Значение в точке i определяется по рекурсивной формуле: $E'_i = \frac{E'_{i-1} * (F_n - 1) + E_i}{F_n}$. В этой формуле E_i — последнее измеренное значение, а E'_{i-1} — предыдущее значение, определенное по рекурсивной формуле. Параметр Усреднение задает величину коэффициента F_n . Значение 1 соответствует отсутствию усреднения. Возможно задание дробных значений.

Ниже параметров обратной связи расположены другие важные параметры, общие для разных режимов сканирования.

- Число точек — число точек в строке сканирования. Максимальное значение этого параметра 512 точек в строке. Обычно принято использовать 512 или 256 точек.
- Скорость — скорость сканирования выражается в числе строк в секунду (Гц). При работе в режиме СТМ рекомендуется выбирать скорость 1 Гц для кадров среднего размера. При работе в контактном режиме АСМ скорость может быть выше: 2–3 Гц, а в РАСМ — 1 Гц.
- Точный Z — включает режим повышенной точности по оси Z. В этом режиме сигнал обратной связи подается через высоковольтный усилитель с уменьшенным коэффициентом усиления, за счет чего увеличивается разрешение, но уменьшается динамический диапазон. Целесообразно использовать этот режим при сканировании небольших объектов: ДНК, РНК, белков, кристаллических ступеней.
- Смещ. тока/силы/амплитуды — значение смещения нуля сигнала ошибки обратной связи. Смещение устанавливается запуском процесса “Set Bias”, так же его можно сбросить в 0 нажатием на кнопку с надписью “>0<”. Это нужно делать после первого подвода в СТМ и каждый раз после подвода к поверхности образца в режиме АСМ.
- Температура — Если на микроскопе установлен предметный столик с температурным контролем, то можно задать температуру до которой следует нагреть образец, и которая будет поддерживаться с высокой точностью. Диапазон доступных температур до 80° с точностью 0,05°.
- Поз. подвода — счетчик положения образца. Счетчик можно обнулить в любой момент нажатием на кнопку с надписью “>0<”. Целесообразно обнулить его сразу после подвода, чтобы принять этот уровень за нулевую высоту.

Образец	Тунельный ток	Тунельное напряжение	Интегральное звено	Пропорциональное звено
Графит	500 пА	40 мВ	0,03	0,03
Золото	1000 пА	100 мВ	0,08	0,08
Алюминий	300 пА	2 В	2	3

В центре окна параметров выводится индикатор текущего положения кантилевера, такой же, как и в окне текущих параметров (рис. 2.10). Отсутствие сигнала обозначает отрыв иглы от поверхности образца, а зашкаливание — большую силу взаимодействия иглы с образцом, возможно, вдавливание иглы в поверхность.

Все остальные параметры сгруппированы по закладкам и расположены в правой части окна параметров. Каждая из закладок верхнего уровня отвечает за один из режимов сканирования.

Закладка Поверхность

Здесь задаются параметры сканирования, относящиеся к сканированию поверхности $Z(X,Y)$. Сканирование может происходить в нескольких режимах. Режим нужно выбрать в выпадающем списке, расположенном в верхней части закладки. В зависимости от того, какой режим выбран, появляются одна или несколько подзакладок, первая из которых содержит общие параметры сканирования поверхности, а остальные — параметры, специфичные для выбранного режима сканирования.

На подзакладке Общие задаются следующие величины, общие для всех режимов сканирования:

- X_0 , Y_0 , Ширина, Высота — координаты нижнего левого угла окна сканирования и его размеры (рис. 2.12). Размеры и позицию можно менять во время сканирования, изменения будут произведены на ходу. При изменении этих параметров размеры окна имеют больший приоритет, и в том случае, когда размеры задаются довольно большими, координаты нижнего левого угла автоматически уменьшаются. Ширина всегда соответствует горизонтальному размеру окна, а Высота вертикальному, независимо от выбора быстрой оси сканирования. При изменении ширины меняется одновременно и высота, чтобы величина шага по горизонтали и по вертикали оставалась постоянной. По этой же причине при изменении высоты меняется число строк в изображении.

Программа ФемтоСкан Онлайн автоматически следит за тем, чтобы окно сканирования не выходило за динамический диапазон сканера. Точка с координатами $(0,0)$ является центром окна сканирования максимального размера. При выборе этого окна значения X_0 и Y_0 автоматически примут минимальные значения.

- Число строк — число строк в изображении. Это поле недоступно для непосредственного изменения. Для изменения числа точек в строке отведено поле “Число точек” в общих параметрах, а число строк рассчитывается исходя из соотношения параметров ширины и высоты.
- Напр-е гориз. развертки — направление быстрого сканирования (строчной развертки) в глобальных координатах.
- Число сканов — указывает сколько раз сканировать поверхность. Если в поле стоит 0, то сканирование будет продолжаться, пока Вы сами его не остановите.
- Откл. верт. развертки — отключение вертикальной развертки. При отключенной вертикальной развертке движение по медленной оси не происходит, хотя в окне сканирования строка будет продолжать двигаться. Если образец с течением времени не меняется, то картинка будет статична (все строки будут одинаковы), если же на поверхности происходят какие-то изменения (например, растет ступень кристалла), то их можно будет видеть в развертке по времени. При этом все кадры будут рисоваться в одном направлении медленной развертки.
- Верт. разв. вверх — направление медленной развертки. в конце каждого кадра меняется на противоположное.

В двух рамках — Канал 1 и Канал 2 — сгруппированы параметры для первого и второго изображений, относящихся к одному и тому же проходу поверхности. Внутри обеих рамок доступны почти одинаковые параметры.

- Выпадающий список, состоящий из пунктов Высота, Отклонение, Трение и других типов данных (в рамке 2-го канала кроме того еще есть вариант Отключен), задает тип

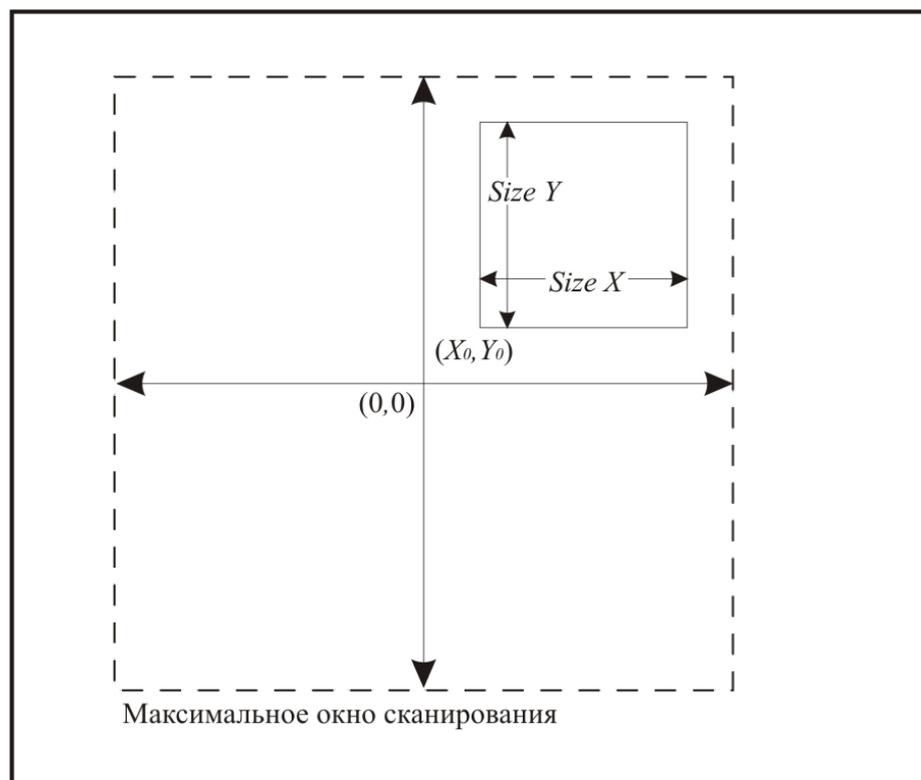


Рис. 2.12. Размеры окна сканирования.

данных, которые будут записаны в изображении. Высота — высота поверхности, равная с точностью до знака отклонению столика. Отклонение — отклонение детектируемого сигнала от опорного значения. Трение — в режиме АСМ сигнал горизонтального отклонения луча лазера со светодиода (РАСМ). Интенсивность — суммарный сигнал со светодиода (АСМ, РАСМ). Отклонение 2 — сигнал вертикального отклонения луча лазера (в режиме АСМ он совпадает с сигналом Отклонение, в режиме РАСМ сигнал Отклонение берется со среднеквадратичного детектора), Фаза — сигнал с фазового детектора (РАСМ), Фаза* — сопряженная фаза, Проводимость — сигнал проводимости, Канал 6,7 — дополнительные каналы данных. Если на сервере включена возможность снятия данных с дополнительного устройства, подключенного к СОМ-порту, то в списке так же появится тип данных Auxiliary — данные с внешнего устройства.

Помимо этих параметров, на закладке Общие в зависимости от выбранного режима сканирования могут появляться еще несколько параметров.

В данной версии программного обеспечения реализованы следующие режимы сканирования поверхности:

- Топография — обычный режим сканирования поверхности. Доступен во всех трех режимах работы микроскопа СТМ, АСМ и РАСМ.
- Двойной проход — режим сканирования поверхности с повторным проходом строки. Параметры обратной связи для второго прохода задаются на закладке Двойной проход. Кроме того, на закладке Общие появляются две дополнительных метки “2й скан” — по одной для каждого изображения — позволяющие выводить в одном из каналов изображения данные, полученные во втором проходе строки.
- Перемежающийся — режим сканирования с повторным проходом строки. На первом проходе регистрируется топография поверхности, а на втором игла движется выше поверхности на величину смещения по вертикали, задаваемого на закладке Перемежающийся и повторяет профиль, снятый при первом проходе строки. Отрицательное смещение соответствует удалению зонда от поверхности. В этом режиме на закладке Общие появляются две дополнительных метки “Перемежающийся” — по одной для каждого изображения — позволяющие выводить на изображение результат повторного прохода строки. Этот режим используется в магнито-силовой микроскопии и электро-статической силовой микроскопии. На первом проходе снимается топография поверхности, а на втором, за счет отвода зонда от поверхности, исключается механическое взаимодействие зонда с образцом, и регистрируются магнитные или электро-статические силы.
- С отводом — режим сканирования с повторным проходом кадра. Сканирование поверхности проходит в два этапа. На первом этапе сканируется выбранное поле с регистрацией высоты поверхности в прямом и обратном направлении прохождения строки. На втором этапе зонд движется по плоскости, соответствующей среднему наклону поверхности, вычисленной методом наименьших квадратов на основе данных первого этапа, и сдвинут относительно нее на величину смещения, задаваемого на закладке С отводом. Отрицательное смещение соответствует удалению зонда от поверхности.
- Литография — режим литографии. Литография может выполняться тремя способами: литография зондом (Высота), литография напряжением (Напряжение) и литография модуляцией опорного значения (Уставка). На закладке Литография выбираются изображение-маска, режим литографии и параметры воздействия на поверхность. При нажатии на кнопку “Выбрать” появляется окно выбора изображения-маски (рис. 2.13).

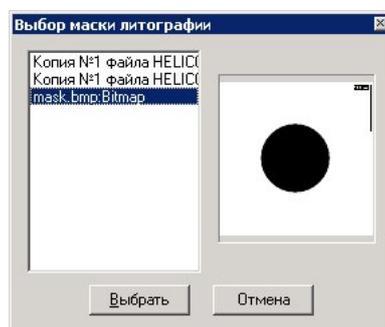


Рис. 2.13. Выбор маски литографии.

Если размеры маски не совпадают с размерами сканируемой области (в точках), то маска будет соответствующим образом сжата или растянута. Значения высоты маски будут пронормированы от минимума до максимума согласно выставленному значению масштаба. При использовании сложной маски лучше заранее позаботиться о ее размерах и динамическом диапазоне.

Режим “Высота” реализуется в АСМ. Такая литография проходит в два этапа (как в режиме “С отводом”). На первом этапе снимается профиль поверхности (Высота) в прямом и обратном направлении. По этим данным вычисляется плоскость среднего наклона поверхности, к ней добавляется промасштабированная от 0 до “Масштаба” маска с заданным смещением “Смещение”. Положительное смещение означает приближение зонда к поверхности образца. На втором этапе зонд движется по полученной поверхности, продавливая рисунок маски. Такая литография может быть осуществлена не на всех поверхностях. Наилучшим образом для нее подходят мягкие материалы, например, многие полимерные пленки. Помните, что литография на жестких кристаллических поверхностях может привести к затуплению и поломке иглы!

Режим “Напряжение” реализуется при работе в СТМ. Прямо во время сканирования поверхности на ЦАП туннельного напряжения подается дополнительный сигнал — профиль строки, взятый из маски изображения. Под действием этого напряжения происходит электро-химическое травление поверхности образца. Такая литография может быть осуществлена не на всех типах поверхностей. Наилучшим образом для нее подходят титан, алюминий, графит.

В режиме РАСМ также можно проводить литографию типа “Уставка”. В этом режиме текущее опорное значение обратной связи изменяется в соответствии с маской, что приводит к периодическому возникновению более плотного контакта иглы с образцом. Как и в случае режима “Высота” гравировка поверхности возникает в результате механического контакта с зондом. Соответственно, поверхность должна быть достаточно мягкой.

Закладка Осциллограф

В этом режиме микроскоп продолжает сканировать, но данные, которые он получает, выводятся не в виде цветовой карты, а в виде профиля текущей строки, как на осциллографе. На этой закладке собраны параметры работы осциллографа:

- Канал 1, 2 — тип данных, отображаемых в окнах осциллографа. Может быть Высотой,

Отклонением сигнала обратной связи от опорного значения, или одним из сигналов со второго АЦП (остальные значения).

- Откл. обр. связь — отключение обратной связи. При установленном флаге опорное значение обратной связи и звенья будут установлены в 0, что уберет смещение из сигнала ошибки обратной связи и зафиксирует положение кантилевера.

Закладка Модуляция Z

В режиме модуляции Z на Z-координату подается один из выбранных профилей — импульсы, треугольный профиль, синусоида или пользовательский. Амплитуда сигнала при этом масштабируется от 0 до заданного значения “Амплитуда”. Этот режим предлагается использовать для подбора оптимальных параметров обратной связи. В окне сканирования при этом красным цветом показывается профиль идеального отклика (если выбран тип данных Высота).

- Амплитуда — амплитуда прямоугольного импульса.
- Профиль — форма профиля, подаваемого на Z-координату.
- Канал 1, 2 — тип данных, отображаемых в окнах сканирования.
- Число сканов — количество последовательно снятых кривых.

Закладка Поиск резонанса (режим РАСМ)

В этом режиме проходит настройка на резонанс кантилевера для дальнейшего проведения измерений в режиме РАСМ. Для этого снимаются зависимости сигналов Отклонение и Фаза от частоты вынужденных колебаний кантилевера. Параметры Старт и Размер задают первоначальную величину развертки. В режиме автоматической настройки программа снимает кривую отклика, выбирает самый сильный резонанс, подстраивает амплитуду модуляции таким образом, чтобы значение сигнала в резонансе равнялось значению, заданному в поле “Ампл. рез.,” и уменьшает размер развертки. (см. 2.2.4). Сужение развертки идет до тех пор, пока значение сигнала в максимуме не будет равно заданному значению (в пределах уровня шума). После нахождения резонанса с максимально возможной точностью, подстраивается фаза сигнала таким образом, чтобы в максимуме фаза отклика была равна нулю и имела отрицательную производную. В ручном режиме сканирование производится непрерывно, на окне сканирования пользователь двумя вертикальными метками выбирает нужный резонансный пик (рис. 2.14) и нажимает кнопку Zoom In . Программа выставляет пределы сканирования по этим указателям и меняет амплитуду модуляции так, чтобы значение сигнала в максимуме в выбранном диапазоне равнялось заданному в поле “Ампл. рез.,”. Если в меню Scan/Tune by... выбрано Amplitude, то настройка частоты производится на максимум амплитуды; если выбрано Phase, то настройка производится на область максимального наклона фазы.

Учтите, что нулевой уровень программа выставляет автоматически по первому скану. Поэтому, если настройка запущена с очень узким диапазоном вблизи резонанса, ноль будет выставлен неправильно, и при подстройке амплитуды модуляции будут задаваться неправильные значения. Чтобы избежать этого, всегда начинайте настройку на резонанс с широким начальным диапазоном (200 – 500 КГц).

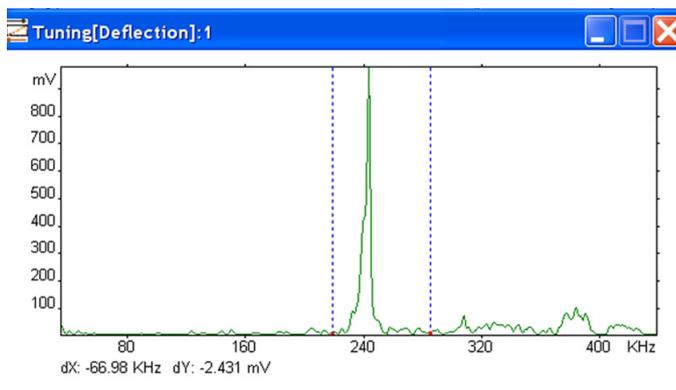


Рис. 2.14. Настройка на резонанс.

Закладки $I_t(Z)$ (режим СТМ), $F(Z)$ (режим АСМ), $D(Z)$ (режим РАСМ).

На этих одинаковых по составу параметров закладках задается диапазон сканирования кривых зависимостей тока от высоты в режиме СТМ $I_t(Z)$, силы от высоты в АСМ $F(Z)$ и амплитуды колебаний кантилевера от высоты в режиме РАСМ $D(Z)$.

Закладка $I_t(U_t)$ (режим СТМ).

Эта закладка используется для быстрого задания диапазона сканирования зависимости тока от напряжения в режиме СТМ $I_t(U_t)$.

Закладка Кривые

На этой закладке задаются параметры снятия зависимостей — спектроскопических измерений. Можно снять зависимости одного или двух выбранных сигналов (Канал 1 и Канал 2) от одного или двух Аргументов. Аргументы задаются с помощью соответствующих ЦАПов — Высота, Туннельное напряжение, Температура, Контроллер 1 и 2. Если 2-й аргумент не отключен, то результатом сканирования будет двумерное изображение, в противном случае — кривая.

Закладка Дополнительно...

На этой закладке можно задавать значения дополнительных устройств — двух ЦАПов и генератора частоты.

2.2.5 Сканирование поверхности

Когда установлено соединение с сервером, выбран режим работы и заданы все параметры, можно начать работу. Ползунок, находящийся в центре окна параметров сканирования, показывает высоту зонда над поверхностью. При правильных параметрах обратной связи, когда образец не подведен, ползунок должен находиться в крайнем нижнем положении.

Загрузка программы платы DSP

С помощью команды меню СЗМ/ Запуск/ Загрузка выполняется загрузка программы в плату DSP. Эту операцию необходимо выполнять при каждом включении электронной части

микроскопа. Обычно эту операцию выполняет оператор сервера, но может сделать и удаленный пользователь.

Установка смещения нуля

Пока образец находится в отведенном состоянии, нужно выставить ноль сигнала ошибки обратной связи (Deflection). Это делается выполнением команды Установка смещения, которая расположена в меню СЗМ/ Старт. Это же меню доступно по нажатию на кнопку . В дальнейшем, когда будет говориться о меню этой кнопки, помните, что оно равносильно меню СЗМ/ Старт.

Установка смещения нуля особенно важна в режиме АСМ — правильное значение позволит в дальнейшем, после калибровки чувствительности по кривой подвода-отвода $F(Z)$, задавать правильную силу взаимодействия кантилевера с образцом. В других режимах установка смещения так же повысит точность задания опорного значения обратной связи.

Подвод к образцу

Подвод запускается командой меню кнопки  / Подвод.

После запуска команды подвода, в окне параметров сканирования начнет увеличиваться значение счетчика шагов, показывающее, на какое расстояние сдвинулся образец относительно положения, в котором он был в начале данного подключения. Когда подвод действительно завершится, то индикатор положения будет уже не в крайнем нижнем состоянии, а где-то посередине. Если же подвод не произошел, а микроскоп принял за него случайный шумовой выброс в сигнале, то индикатор останется внизу.

Если образец был подведен на большое расстояние (обычно $100 \mu\text{m}$), а обратная связь так и не сработала, то появится сообщение о неудачной попытке подвода с предложением продолжить подвод. Ответьте Ok.

Начало сканирования

Если произошел удачный подвод, можно начинать сканирование. Это осуществляется командой меню кнопки  / Z(X,Y). После выполнения этой команды в зависимости от установленных параметров появится одно или два окна сканирования (рис. 2.15). По изображению перемещается планка, показывающая текущую строку сканирования. При получении очередного изображения, оно может быть автоматически открыто в новом окне, а может быть проигнорировано (раздел 2.2.11). После того, как снято очередное изображение, сканирование продолжается в том же окне в обратную сторону. В то время когда идет сканирование, Вы уже можете обрабатывать отснятые изображения.

Изменение размеров окна сканирования

С помощью команд меню Сканирование/ Приблизить и Сканирование/ Удалить или кнопки  и  можно увеличивать или уменьшать размеры участка сканирования (если размеры текущего участка это позволяют). Для уменьшения выберите нужную часть поверхности и нажмите Приблизить. Новое изображение будет соответствовать выбранному участку. Для увеличения выберите участок поверхности, которому будет соответствовать на новом изображении текущее окно, и нажмите Удалить. Сканирование будет продолжено в текущем окне, но с новыми параметрами. Одновременно изменятся установки в окне Параметры.

Участки всегда выделяются с тем же соотношением сторон, как у текущего кадра.

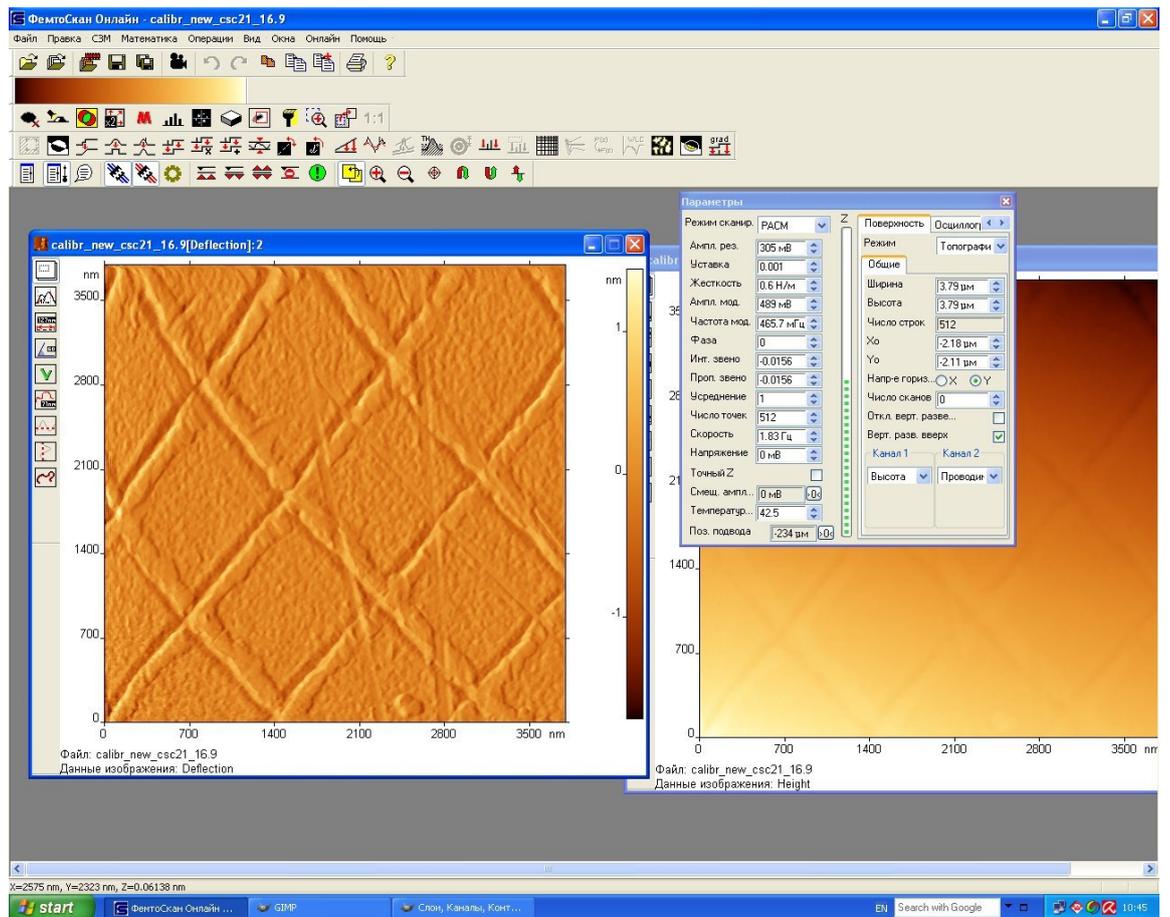


Рис. 2.15. Сканирование поверхности.

Смещение окна сканирования

Для того, чтобы переместить окно сканирования в другое место, выберите команду меню Сканирование/ Установить смещение или нажмите кнопку  и выберите команду Установить смещение. Курсор примет вид мишени. Прицельтесь им на то место, где будет центр нового изображения, и нажмите левую клавишу мыши. Сканирование будет продолжено в текущем окне, но с новыми параметрами. Одновременно изменятся установки в окне Параметры.

Перезапуск сканирования

Если по какой-то причине Вы хотите получить новую картинку того участка, который сейчас сканируется, не дожидаясь окончания текущего сканирования, нажмите кнопку  или . Эти же команды доступны из меню Сканирование — это Перезапуск Сверху и Перезапуск Снизу.

Подстройка положения столика

Если во время сканирования из-за температурного дрейфа или по каким-либо еще причинам образец отошел слишком далеко, или наоборот, зонд начал задевать за поверхность, то образец можно подвинуть с помощью команд пошагового подвода/отвода. Для этого есть кнопки  и . Выполнение этих команд перемещает столик на один шаг шагового двигателя вверх или вниз. Учитывайте, что у механической системы всегда существует некоторый люфт, и при первых шагах перемещения столика может не произойти.

Остановка сканирования

Чтобы остановить процесс сканирования, нажмите кнопку  или выберите команду меню СЗМ/ Остановить. Учтите, что во время сканирования окна сканирования закрыть нельзя.

Выключение питания шагового двигателя

Питание шагового двигателя может быть отключено кнопкой . Эта кнопка появляется на панели инструментов, только если на сервере разрешена такая операция.

Быстрый отвод иглы

В микроскопе есть возможность отвести иглу от поверхности при помощи пьезоманипулятора в крайнее положение. Если после этого начать обычный отвод при помощи шагового двигателя, то меньше вероятность повредить зонд. Отвод при помощи пьезоманипулятора выполняется нажатием на кнопку . Шаговый двигатель при этом не трогается, а при любом следующем действии кнопка автоматически отжимается.

2.2.6 Снятие зависимостей

Режим сканирования зависимостей Зависимость позволяет получить зависимость сигнала по выбранным каналам от одного или двух аргументов. Например, чтобы получить в режиме АСМ зависимость $F(Z)$, нужно выбрать канал Отклонение, и аргумент Z . При запуске сканирования открывается окно, в котором выводятся отснятые кривые. Зеленым цветом выводится результат прямого прохода (подвод), красным — обратного (отвод). Шкала автоматически масштабируется так, чтобы все кривые умещались на изображении. Если в параметрах сканирования Число сканов отлично от нуля, то будет отснято указанное число кривых. Результат сканирования усредняется по числу проходов по мере снятия кривых. Если для параметра

Число сканов установлено значение 0, то усреднения не происходит, а сканирование продолжается до остановки пользователем кнопкой  или командой меню СЗМ/ Остановить. В этом случае сохраняется только результат последнего прохода.

При снятии зависимости от двух аргументов, появляется окно, аналогичное окну сканирования поверхности, но по оси X в нем откладывается первый аргумент, а по оси Y второй. Цветом передается значение выбранного канала.

2.2.7 Осциллограф

Режим осциллографа запускается выбором команды меню кнопки  / Осциллограф. В ответ на эту команду открывается окно, аналогичное окнам снятия зависимостей, в котором по горизонтальной оси отложено время.

Надо отметить, что все команды меню кнопки  являются взаимно исключающими, т.е. при запуске любого нового процесса текущий останавливается. Для того, чтобы увидеть сигнал осциллографа одновременно со сканированием поверхности, можно воспользоваться программой Fmboard.

2.2.8 Модуляция Z

Режим модуляции Z запускается выбором команды меню кнопки  / Модуляция Z. В нем на Z-координату подается с некоторой амплитудой и частотой один из профилей — импульсы, треугольный профиль, или синусоида. Этот режим удобно использовать для подбора оптимальных параметров обратной связи. В окне сканирования при этом красным цветом показывается профиль идеального отклика (если выбран тип данных Высота), а зеленым — реальный профиль, который обрабатывает обратная связь.

2.2.9 Фотодиод (режим АСМ)

Команда меню кнопки  / Фотодиод вызывает окно, в котором показывается положение лазерного пучка на фотодиоде и интенсивность этого пучка. Эта функция используется в первую очередь при настройке лазера перед сканированием в режимах АСМ и РАСМ. Если монитор находится рядом с микроскопом, то удобно, глядя на окно Фотодиода, вращать настроечные винты фотодиода и добиваться хорошего попадания на него лазерного луча. В меню Вид можно отметить галочкой строчку Нормировать по интенсивности — тогда отклонение луча будет нормализоваться с учетом его интенсивности — при низкой интенсивности сигнала чувствительность не будет падать.

2.2.10 Снятие кривых в точке изображения

Снятие кривых в точке сканируемого изображения запускается выбором команд меню кнопки  / $F(Z)$ в..., $D(Z)$ в... , $I_t(Z)$ в..., $I_t(U_t)$ в.... Курсор примет форму мишени, и при нажатии на поле текущего окна сканирования произойдет запуск сканирования зависимости с начальными координатами, соответствующими этой точке. Параметры, соответствующие выбранному режиму, будут автоматически введены на закладке Зависимость.

2.2.11 Дополнительные команды

Помимо описанных выше возможностей, программа ФемтоСкан Онлайн содержит набор дополнительных команд для работы при сканировании. Они позволяют выполнить специальные операции по управлению микроскопом и настройке интерфейса.

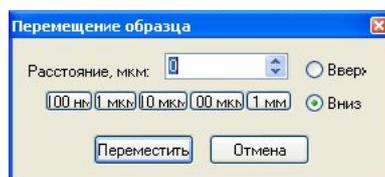


Рис. 2.16. Меню для быстрого подвода и отвода образца.

Быстрый подвод и отвод зонда

Для быстрого перемещения зонда (например, для его отвода в конце работы) воспользуйтесь командой меню СЗМ/ Переместить образец. Эта команда выполняет перемещение образца на указанную величину вверх (к зонду) или вниз. В появившемся окне (рис. 2.16) нажатием на кнопки наберите необходимую длину перемещения и выберите направление движения образца.

Обмен сообщениями

Для обмена сообщениями с сервером и остальными клиентами нужно открыть специальное окно Чат. Это можно сделать, отметив пункт Окно чата в меню СЗМ, или нажав на кнопку . В поле Подсоединенные клиенты окна Чат показываются все клиенты, подключенные к серверу, в поле История — все сообщения, которые Вы отправили или получили. Для написания сообщений служит третье поле (Отправить сообщение), в котором Вы можете ввести текст своего послания. Если оно предназначено всем клиентам, подсоединенным к серверу, просто нажмите ввод, и сообщение будет отправлено. Чтобы сообщение попало только к некоторым из клиентов, выделите их в поле Подсоединенные клиенты с помощью мыши и кнопок Ctrl и Shift, после чего тоже нажмите ввод. Все отправленные сообщения появляются не только у клиентов, к которым они отправлены, но и в окне сообщений сервера Сообщения.

Режим сохранения изображений

Когда Вы выполняете сканирование, автоматически открываются одно или два рабочих окна, в которых в режиме реального времени выводятся получаемые изображения. Как правило, программа настроена таким образом, что после завершения очередного кадра сканирование сразу же продолжается в противоположном направлении. При этом в рабочих окнах предыдущие картинки постепенно заменяются на новые. Для работы с отснятыми изображениями нужно сохранить их, в противном случае эти данные будут забыты по мере прохождения следующего кадра. Чтобы данные сохранялись и выводились в новых окнах, в меню Сканирование напротив поля Захват должна стоять галочка, это равносильно тому, что нажата кнопка . Эту операцию необходимо повторять для каждого интересующего Вас кадра. Автоматизировать эту процедуру можно при помощи некоторых настроек. Если выбрать команду меню СЗМ/ Опции клиента... , то появится окно, показанное на рис. 2.17. В трех нижних полях окна Вы можете видеть (и скорректировать при необходимости) информацию, которая была введена при подключении к микроскопу. О том, что это за информация, написано в разделе 2.2.1.

Если отмечено поле Автосохранение, то все получаемые изображения будут автоматически записываться на диск в каталог, указанный в поле Путь.

Параметры Выравнивание и Масштабирование отвечают за то, как будет отображаться информация в рабочих окнах сканирования поверхности и не влияют на сами данные. При выравнивании считается средний наклон для каждой строки и автоматически вычитается из

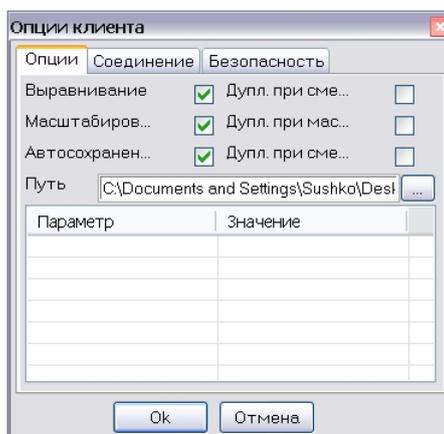


Рис. 2.17. Окно настроек, определяющих работу программы с получаемыми изображениями.

нее. Масштабирование подстраивает цветовую шкалу отдельно под каждую строку, так что данные оказываются “растянуты” на весь диапазон цветов. Рекомендуется использовать обе опции, поскольку такая обработка делает изображение более наглядным и подчеркивает мелкие детали. Без нее может быть трудно с первого взгляда оценить качество изображения.

Параметры Дупл. при смене напр-я, Дупл. при масштабировании и Дупл. при смещении включают режимы, в которых уже имеющиеся данные будут выведены в новых окнах при, соответственно, повторном сканировании, изменении размеров окна сканирования и смещении окна сканирования. Это дает возможность не потерять данные при преждевременной смене области сканирования.

Изменение имен сканируемых файлов

По умолчанию отснятым файлам даются имена в соответствии с информацией, которая была введена при подключении к микроскопу (раздел 2.2.1). Если по какой-то причине нужно изменить имена, это можно сделать на закладке Соединение в поле Образец. Номера, присваиваемые файлам, изменяются в таблице на закладке Параметры.

Включение звука

Для информирования экспериментатора о неполадках при сканировании предусмотрены звуковые сигналы, сообщающие о том, что зонд слишком близко подошел к образцу, либо наоборот, не достает до него. Отключение этих звуковых сигналов, доступно в окне Текущие параметры для этого есть кнопка  (или ). Если динамик, нарисованный на кнопке, перевернут, то звуковые сигналы выключены, в противном случае включены. Чтобы изменить состояние кнопки, просто нажмите на нее.

2.2.12 Окончание работы

Когда эксперимент окончен, остановите сканирование и отсоединитесь от сервера, последовательно убрав галочки в меню СЗМ/ Подсоединиться Мастером и СЗМ/ Подсоединиться Клиентом. При закрытии программы все текущие параметры, а так же калибровочные константы, полученные с сервера, автоматически сохраняются на Вашем компьютере, и при следующем запуске программы будут восстановлены.

Глава 3

Обработка изображений с помощью программы “ФемтоСкан Онлайн”

Программа ФемтоСкан Онлайн предоставляет широкий набор функций обработки и анализа изображений. Успешность их использования зависит от понимания пользователем методов, используемых при получении данных и их обработке.

3.1 Общий вид программы

Основное окно программы представлено на рисунке (рис. 3.1) Вверху расположено главное меню. Если нет открытых изображений, то оно состоит из 6 частей: меню Файл, СЗМ, Вид, Окна, Онлайн и Помощь. Под ним расположена панель для работы с файлами, еще ниже две панели, содержащие набор функций для обработки изображений. В самом низу главного окна программы находится строка состояния. Во время работы программы в ней выводится разная полезная информация.

3.2 Настройка общих параметров

Для удобства работы с клиентской частью программного обеспечения в глобальном меню Файл предусмотрена команда Опции. При вызове этой команды появляется окно, в котором клиент по своему усмотрению может изменять различные настройки. Окно содержит четыре вкладки: Интерфейс, Вид окон, База данных и Обновления. Внизу расположены кнопки: ОК — применить изменения, Отмена — отменить изменения и выйти из диалогового окна, По умолчанию — восстановления заданных по умолчанию параметров во всех вкладках.

Во вкладке Интерфейс представлены основные настройки пользовательского интерфейса (рис. 3.2). Для изменения языка интерфейса необходимо из раскрывающегося списка в пункте Язык интерфейса выбрать нужный язык.

При обработке изображений в целом ряде фильтров необходимо устанавливать значения тех или иных параметров. Если вы собираетесь использовать только те значения параметров, которые установлены по умолчанию, то можете в этой же вкладке установить галочку напротив пункта Стандартные опции плагинов и вам не придется каждый раз подтверждать выбор стандартных параметров нажатием на кнопки Ок.

Настройка Полноэкранный режим позволяет выбрать удобную конфигурацию для показа изображений в полноэкранный режим в случае, если к компьютеру подключено несколько

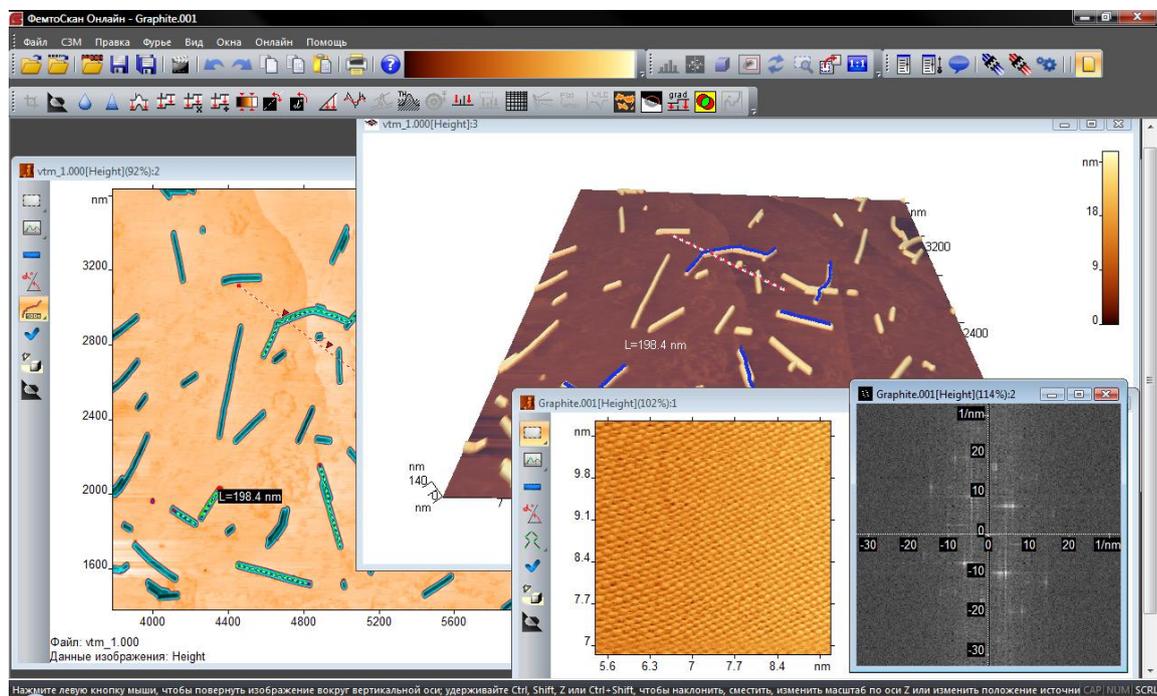


Рис. 3.1. Основное окно программы.

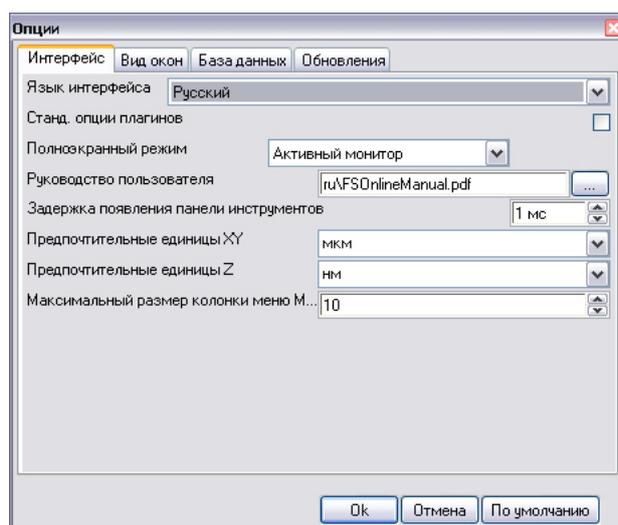


Рис. 3.2. Окно Опции, вкладка Интерфейс.

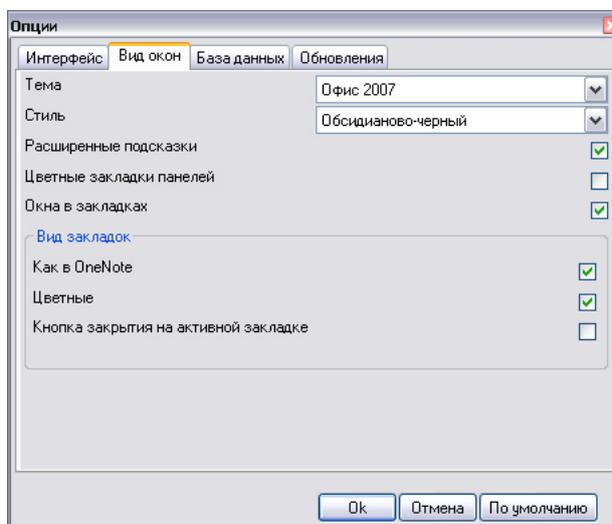


Рис. 3.3. Окно Опции, вкладка Вид окон.

мониторов. Вы можете выбрать, на каком из них будут показываться изображения.

В поле Руководство пользователя можно указать локальный адрес, по которому расположена пользовательская документация (при отличии от пути, указанного по умолчанию).

В поле Задержка появления панели инструментов задается время, в течение которого необходимо удерживать нажатой кнопку мыши для получения развернутой панели инструментов изображения. При коротком нажатии выбирается текущий инструмент (тот, который нарисован на кнопке). По умолчанию установлено значение 500 мс и его рекомендуется использовать в штатной ситуации.

В полях Предпочтительные единицы XU и Предпочтительные единицы Z можно выбрать из раскрывающегося списка обозначение единиц измерения, которое предпочтительно в подписях по осям XU и Z соответственно. Первоначально предпочтительные единицы не выбраны и определяются автоматически для каждого конкретного изображения.

Самое большое меню в программе — это меню Математика, оно объединяет в себе 30 различных функций. Для того, чтобы меню отображалось корректно на Вашем мониторе, задайте подходящее значение в поле Максимальный размер меню Математика. В нем указывается количество пунктов меню, которые будут расположены в один столбик.

Во вкладке Вид окон (рис. 3.3) определяется стилистика основного окна программы и всех открытых в ней рабочих окон и диалогов.

Во вкладке База данных по умолчанию указаны наименование и путь к базе изображений программы ФемтоСкан Онлайн в сети Интернет, а также необходимые для входа в базу имя пользователя и пароль (рис. 3.4).

Во вкладке Обновления можно установить функции автоматической проверки обновлений (при наличии подключения к сети Интернет), а также проверки обновлений в локальном хранилище (рис. 3.5). В последнем случае необходимо указать путь к локальному хранилищу обновлений программы ФемтоСкан Онлайн в строке Локальное хранилище. В строках Пакет и Загрузчик по умолчанию указаны данные о соответствующих программных продуктах. Если вы не хотите, чтобы программа автоматически проверяла наличие обновлений, уберите галочку напротив пункта Проверять обновления. После того, как все необходимые настройки сделаны, нажмите кнопку ОК.

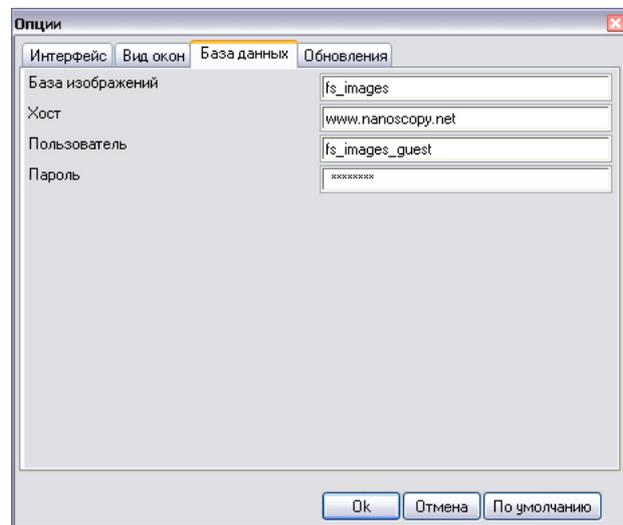


Рис. 3.4. Окно Опции, вкладка База данных.

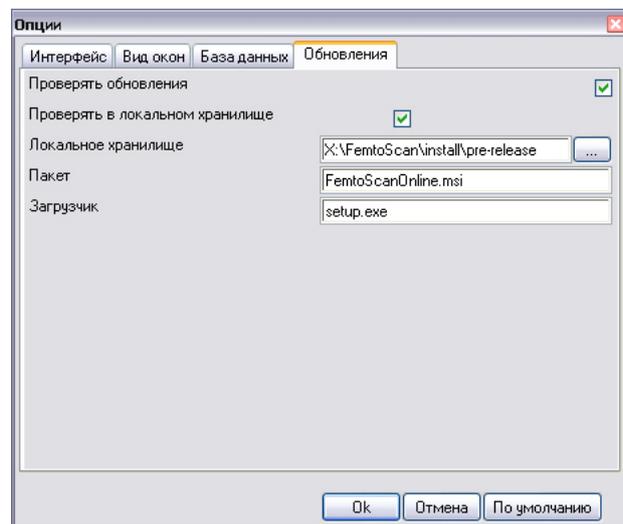


Рис. 3.5. Окно Опции, вкладка Обновления.

3.3 Работа с файлами

Формат файла	Формат имени файла	Тип данных	
		Поверхности	Кривые
ФемтоСкан Онлайн	*.spm	•	•
NT-MDT	*.mdt, *.sm2	•	•
NanoEducator (NT-MDT)	*.spm	•	
NanoScope II	*.0??	•	
NanoScope III	*.0??	•	•
Dimension (VEECO)	*.0??	•	•
Скан 8	*.tmd	•	
Park Scientific	*.hdf	•	
Molecular Imaging	*.stp	•	
Asylum Research (Igor Pro)	*.ibw	•	•
WSxM Nanotec Electronica	*.*	•	
Nanotop	*.spm	•	
Amphora (оптич. данные)	*.tlk	•	
WITec	*.wip	•	
Omicron	*.par	•	
Nanosurf	*.nid	•	
Pacific Nanotechnology	*.pni	•	
Digital Surf	*.sur	•	
AIST-NT	*.aist	•	•
LEO	*.tif (16-bit grayscale и цветные)	•	
JEOL	*.tif (16-bit grayscale)	•	
Bitmap	*.bmp	•	
Jpeg	*.jpg, *.jpeg	•	
Текстовый формат	*.txt, *.dat	•	•

Таблица 3.1. Воспринимаемые форматы данных.

Программа может работать с файлами, полученными на микроскопах ФемтоСкан, Nanoscope II, Nanoscope III, и некоторых других микроскопах (см. таблицу 3.1). При сохранении файлов Nanoscope II, III в текстовом заголовке файла сохраняется только информация, общая с форматом файлов ФемтоСкан. Текстовый заголовок файла всегда можно просмотреть, выбрав команду меню Вид/ Параметры....

3.3.1 Открытие и импорт файлов

Для того, чтобы открыть файл нажмите на кнопку  или выберите команду меню Файл/ Открыть. В появляющемся окне (рис. 3.6) Вы можете выбрать сразу несколько файлов, используя сочетания клавиш Shift или Ctrl и щелчок левой кнопки мыши. Выбранные файлы могут быть открыты каждый в отдельном окне, или же все вместе в одном общем окне. Для этого параметр Совместить документы нужно поставить в значение Нет или Да соответственно. Чтобы изменить значение, установленное для данного параметра, щелкните левой кнопкой мыши по полю с его текущим значением. Последний каталог, из которого были открыты или в котором были сохранены файлы, запоминается при выходе из программы, и автоматически

3.3.2 Быстрый просмотр файлов

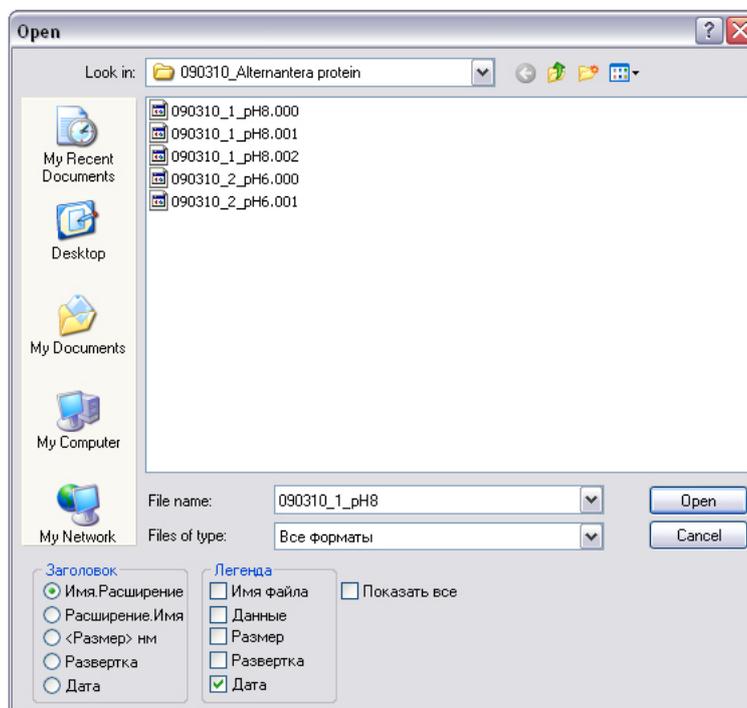


Рис. 3.7. Окно выбора файлов для быстрого просмотра.

При помощи кнопки  или выбором команды меню **Файл/ Быстрый просмотр** можно открыть файлы в виде маленьких эскизов для предварительного просмотра. В появившемся окне (рис. 3.7), выделите файлы для просмотра и нажмите **Открыть**. Двойной клик по эскизу открывает файл для дальнейшей работы. Окошко с эскизом можно масштабировать, потянув за угол, но качество картинки при этом будет хуже оригинала. Вид заголовка и легенды, отображаемых в окнах быстрого просмотра, определяется в диалоговом окне выбора файлов для быстрого просмотра. В рамке **Заголовок** указывается информация, которая будет показана в заголовке окна быстрого просмотра, а в рамке **Легенда** указывается состав его легенды. Если напротив слов **Показать все** на панели выбора поставлена галочка, то при быстром просмотре на каждое изображение, содержащееся в одном файле, будет открыто отдельное окно. Иначе на каждый файл будет открыто только одно окно с первым изображением из содержащихся в файле (обычно это топографические данные).

3.3.3 Автоматический просмотр файлов

Файлы любого каталога и его подкаталогов можно просмотреть в автоматическом режиме с помощью команды **Файл/ Слайд-шоу** или кнопки . При этом Вам сначала будет предложено указать параметры просмотра (рис. 3.8). На кнопке в верхней части диалога написано название папки, в которой будет проходить просмотр. При нажатии на нее вы сможете сменить папку для просмотра (по умолчанию выбрана текущая). В поле **Задержка**, с указывается временная задержка, а галочка напротив пункта **Рекурсивно** означает, что будет просматриваться содержимое подкаталогов. В центре диалога находится таблица с перечнем всех доступных

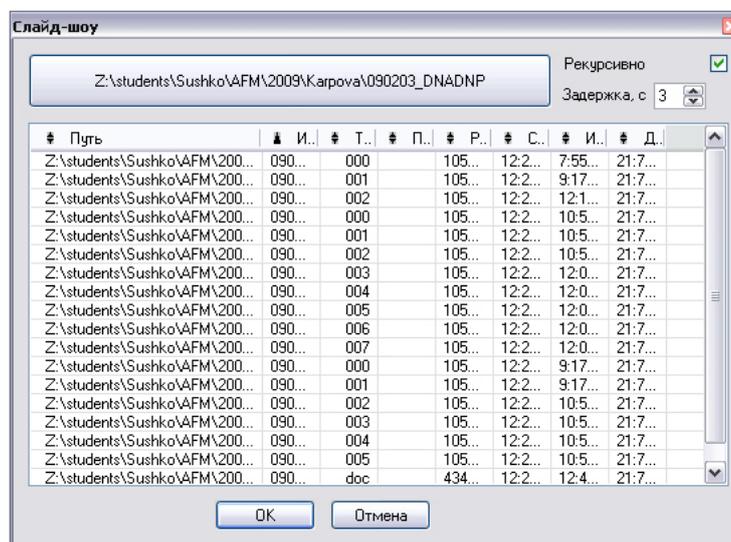


Рис. 3.8. Параметры автоматического просмотра.

файлов из выбранной папки. Можно удалять строки из таблицы, нажимая клавишу Удалить или выбирая команду Скрыть выделение в меню, появляющемся при нажатии правой кнопки мыши. Удаленные файлы не будут показаны при просмотре, но с диска они не удаляются.

После нажатия кнопки ОК перед вами будут один за другим показаны все изображения с выбранной временной задержкой. Минимальная задержка равна 3 секундам. Чтобы приостановить/продолжить просмотр, нажмите пробел, выход из просмотра происходит при нажатии клавиши “Escape”. По окончании просмотра цикл будет повторен с самого начала. При выходе из просмотра программа открывает файл, который показывался последним.

3.3.4 Печать файлов

Программа позволяет готовить к печати и печатать файлы изображений, кривых, гистограмм и текстовых таблиц с параметрами. Для того, чтобы напечатать отдельное изображение, выберите команду меню Файл/ Печать или нажмите на кнопку  на панели инструментов. При этом будет показан стандартный диалог, в котором можно выбрать принтер и количество печатных копий. При желании, предварительно можно запустить предпросмотр печати. Для этого выберите пункт меню Файл/ Предпросмотр печати.

При этом прямо в окне изображения будет открыто окно предпросмотра (см. рис. 3.9).

Программа позволяет печатать коллажи. Для этого необходимо выбрать команду меню Файл/ Печатать коллаж. Появится окно предпросмотра и диалог настроек печати. При составлении коллажей на одном или нескольких печатных листах собираются все открытые изображения, кривые и гистограммы, которые открыты на этот момент. В коллаже участвуют и те изображения, которые минимизированны. Изображения будут расположены на листе в том порядке, в котором они были открыты в программе. Текстовые таблицы при составлении коллажа не учитываются.

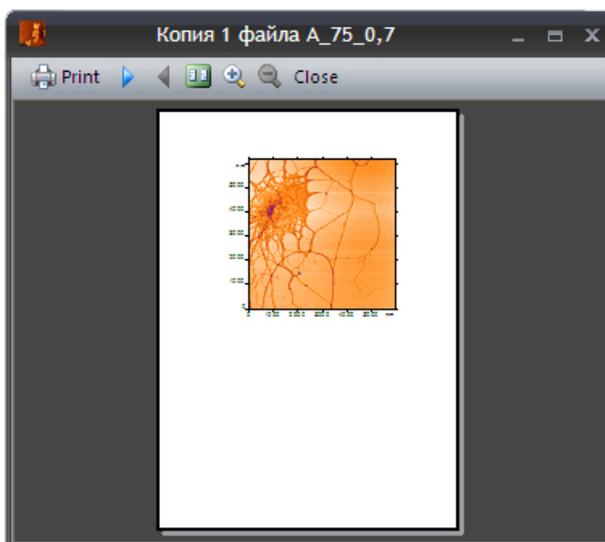


Рис. 3.9. Окно предварительного просмотра печати.

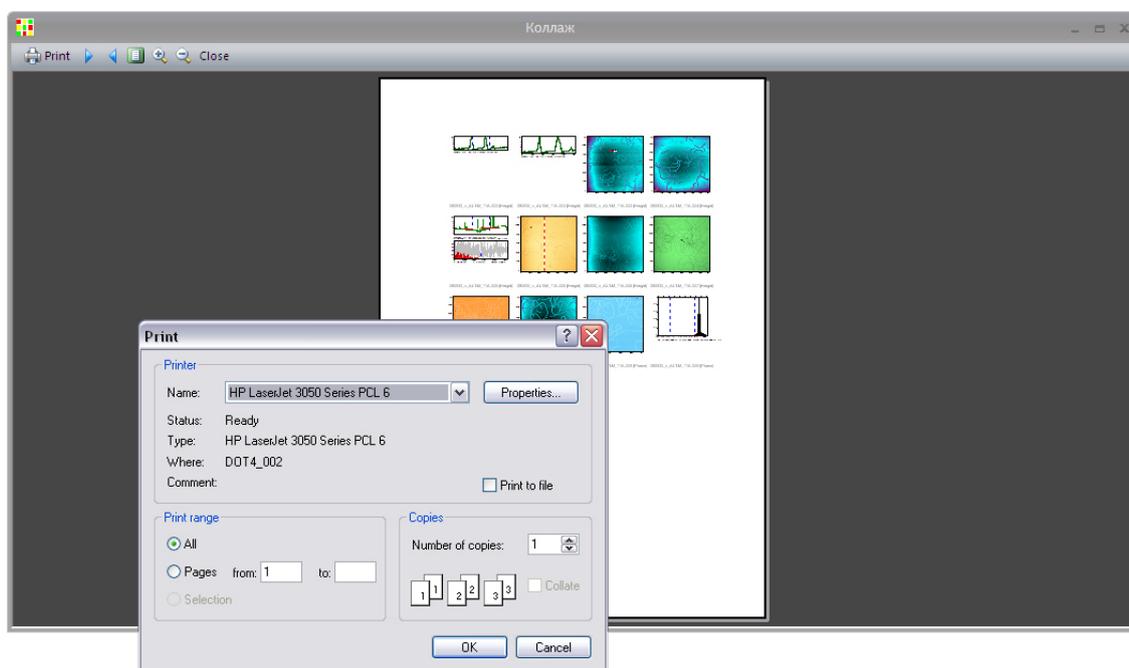


Рис. 3.10. Окно предварительного просмотра печати коллажа.

3.3.5 Сохранение и экспорт файлов

Программа позволяет сохранять данные о поверхностях и кривых в собственных специальных форматах. Для сохранения файла нажмите кнопку  или выберите команду меню **Файл/ Сохранить**. Для сохранения файла под другим именем выберите команду меню **Файл/ Сохранить как...** Чтобы сохранить все измененные или несохраненные файлы выберите команду меню **Файл/ Сохранить все**. Новые файлы при этом будут сохранены в текущий каталог (указанный в меню **Файл/ Сохранять в...**).

В программе предусмотрен экспорт изображений в текстовые файлы ASCII, в файлы рисунков **Витмар** и **Jpeg**, а также в файлы трехмерных изображений для **Internet (Vrml)**. Возможности экспорта для различных изображений приведены в таблице 3.2. При экспорте в текстовый формат не сохраняется информация о выделениях, метках, шкалах и т.п., а для форматов **Витмар** и **Jpeg**, чтобы сохранить эту информацию, нужно в диалоговом окне **Экспорт файлов** установить параметр **Экспорт с декорациями** в значение **Да**. Имейте в виду, что после экспортирования импортировать файлы **Витмар** и **Jpeg** корректно получится только при отсутствии дополнительных элементов, таких как шкалы, метки, выделения.

Виды изображений	Форматы экспорта			
	*.txt	*.bmp	*.jpeg	*.wrl
Обычные изображения кривых и поверхностей	•	•	•	
Сечения	•	•	•	
Гистограммы	•	•	•	
Диаграммы “Enum Features”	•	•	•	
Изображения Фурье-спектров		•	•	
Трехмерные изображения		•	•	•

Таблица 3.2. Экспорт данных.

Экспорт производится командой меню **Файл/ Экспорт**. В появляющемся окне можно выбрать формат файла. Надо отметить, что экспорт изображений поверхностей в текстовый формат может потребовать большое количество дискового пространства.

Для экспорта сразу нескольких файлов используется команда меню **Файл/ Групповой экспорт**. При выполнении этой команды открывается диалог выбора файлов для экспорта (рис. 3.11), в котором можно выбрать среди открытых файлов, какие экспортировать, выбрать формат для экспорта, и задать параметры, зависящие от формата. В зависимости от того, какие окна выбираются для экспорта, список возможных форматов может меняться: например, трехмерные изображения можно экспортировать в формат **VRML**, но если выбрано двумерное изображение поверхности, то такой тип экспорта будет недоступен.

3.3.6 Удаление файлов

Если Вы считаете, что какой-то файл нужно удалить с диска, вы можете сделать это, выбрав любое из изображений, содержащихся в этом файле, и выполнив команду **Файл/ Удалить**. Подтверждение команды не требуется, так что будьте осторожны при выборе файлов для удаления!

3.3.7 Восстановление файлов

При необходимости можно отменить все изменения, происшедшие с файлом во время его обработки, выбрав команду меню **Файл/ Восстановить**. Файл будет заново считан с диска в

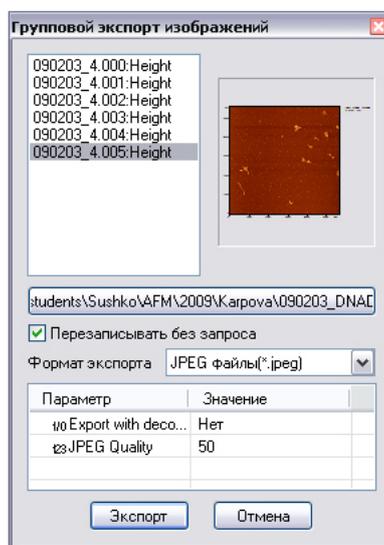


Рис. 3.11. Окно группового экспорта файлов.

своем первоначальном состоянии.

3.3.8 Внешний вид окна изображения

Настройка внешнего вида окна изображения производится из меню Вид/ Настройки, или в разделе Настройки выпадающего меню, появляющегося при нажатии правой кнопкой мыши на изображении. (По умолчанию, при нажатии правой кнопкой мыши на окне изображения появляется само диалоговое окно Настройки) В закладке Общее выведены самые основные настройки.

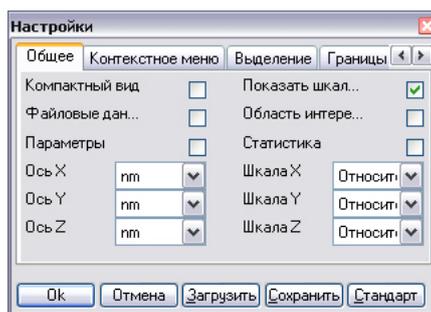


Рис. 3.12. Настройка внешнего вида окна изображения.

Изображение может быть представлено в компактном виде или в расширенном. В первом случае границы окна изображения будут совпадать с границами рисунка и вся дополнительная информация будет отображаться поверх него. Во втором случае вокруг рисунка будут поля, на которых будет отображаться дополнительная информация. Для того, чтобы изображение имело компактный вид поставьте галочку напротив поля Компактный вид. Если ее нет, то окно будет иметь расширенный вид.

Если Вы хотите, чтобы внизу изображения выводилось название файла, установите галочку напротив поля **Файловые данные**. Если вы хотите, чтобы справа от изображения была показана его палитра, поставьте галочку напротив поля **Показать шкалу**. Если вы хотите, чтобы в окне изображения выводилась информация о параметрах сканирования, поставьте галочку напротив поля **Параметры**. Если напротив поля **Статистика** установлена отметка, то на изображении будет выведена информация о максимальной (max) и минимальной (min) высоте на изображении, о максимальном перепаде высот Rmax и о параметрах шероховатости. Подробнее о них можно прочитать в приложении G.

Если авто-масштабирование палитры настроено на некоторый участок картинку при помощи функции **Интересующая область** () , то этот участок будет выделен красной рамкой, пока напротив пункта **Область интереса** установлена галочка.

Во вкладке **Общее** можно выбрать способ подписи данных по осям X, Y и Z. Абсолютными координатами называются координаты сканера микроскопа информация о них записана в каждом файле. Относительными координатами называются оси, построенные от самой нижней точки по Z на изображении и от нижнего левого угла картинку по X, Y.

Во вкладке **Контекстное меню** Вы можете настроить поведение программы при нажатии правой кнопкой мыши на изображении. По умолчанию при правом клике открывается само окно настроек, но если по какой-то причине Вам это неудобно, то можно выбрать любую комбинацию из трех предложенных вариантов: отображение режимов курсора, операции с файлами или списка фильтров из меню **математика**.

Во вкладке **Выделение** собраны настройки, позволяющие сделать построение сечений и самое обыкновенное выделение областей максимально удобными для использования в разных ситуациях. Если для параметра **Притягивать курсор** выбрано значение **Нет**, то границы выделения и крайние точки сечений будут располагаться ровно там, где пользователь указал мышью. Если же для этого параметра выбраны значения к **Максимуму** или к **Минимуму**, то границы будут немного сдвигаться, автоматически определяя ближайший к указанной точке максимум или минимум.

По умолчанию на изображении пунктиром закрашена область, не попавшая в выделение. Если Вы хотите, чтобы заштрихована была выделенная область, измените параметр **Закрашивать**. В той же вкладке настраивается цвет пунктира.

Если файл содержит несколько изображений (например, данные по высоте и отклонению), и во вкладке **Выделение** напротив пункта **Синхронное выделение** установлена галочка, то область выделяется одновременно на всех изображениях.

Во вкладке **Границы** можно задать расстояния от изображения до границ окна в расширенном режиме и размер поля параметров.

Во вкладке **Шрифт** регулируется размер шрифта надписей на изображении. Во вкладках **Фон** и **Легенда** можно настраивать цвета обрамления и букв соответственно. Вкладки **Выделение**, **Текст** и **Фон текста** дают возможность настроить внешний вид выделений и отметок, которые появляются на изображении при работе.

3.3.9 Работа с буфером обмена

Любое изображение: поверхность, кривая, сечение, гистограмма, фурье-образ или текстовое окно может быть скопировано в буфер обмена для использования в других программах и приложениях. Для того, чтобы скопировать активное окно, содержащее картинку, нажмите кнопку  на панели инструментов программы, или выберите пункт меню **Правка/ Копия**, или нажмите стандартное сочетание клавиш **Ctrl+C**. Изображение будет скопировано в буфер обмена.

Для того, чтобы скопировать текст из активного текстового окна (таблицы), выделите все его содержимое (или только ту часть, которую хотите скопировать) и нажмите на кнопку .

или используйте сочетание клавиш Ctrl+C и пункт меню Правка/ Копия. При этом строки таблицы останутся неизменной длины, а столбцы будут разделены знаками табуляции.

Кроме того, предусмотрена возможность копирования текстовых данных с изображения. Например, если в активном окне изображения справа выведены какие-нибудь параметры, построена кривая и отображается ее длина, то всю эту текстовую информацию можно скопировать, нажав на кнопку  на панели инструментов. В буфер можно добавлять информацию, для этого предназначена кнопка . Новые текстовые данные добавляются в буфер на новую строку.

3.3.10 Работа с файлами кривых

Под кривой мы будем понимать двумерные данные, полученные, например, при снятии силовых кривых на микроскопе. При открытии кривых, они отображаются в таких же окнах, как и сечения (раздел 3.7.2), возможности обработки и настройки отображения кривых те же, что и у сечений. При открытии файлов кривых в некоторых форматах, например, ФемтоСкан Онлайн, Nanoscope III, NT-MDT в одном окне может быть показано несколько кривых. При этом одна кривая будет текущей и изображаться сплошной линией, а остальные пунктирными. Фурье-спектр будет показан только для текущей кривой. Переключаться между линиями можно клавишей Tab.

3.3.11 Просмотр текстовых заголовков файлов

У файлов в формате ФемтоСкан Онлайн есть текстовые заголовки — комментарии, которые Вы можете просмотреть, выбрав команду меню Вид/ Параметры... . Откроется окно, где показаны все параметры, при которых происходило сканирование, а также информация о дате появления файла, о том какой пользователь получил данное изображение и его комментарии. Вы можете выбрать интересующие Вас параметры и составить их список, нажимая на кнопку “>”. Когда список составлен нажмите на кнопку ОК. Теперь справа в окне изображения выводятся значения этих параметров. Подробнее о том, как настроить отображение параметров, было сказано выше. Для файлов, записанных при помощи микроскопов Nanoscope II, III, NT-MDT и др., эта информация доступна только частично.

Вы можете менять записанные в файле комментарии. Для этого выберите команду меню Вид/ Комментарии... и впишите в поле открывшегося окна то, что Вам нужно.

3.3.12 Изменение масштаба изображений

Если по каким-то причинам у изображения поверхности или кривой установлен неправильный горизонтальный или вертикальный масштаб, Вы можете исправить его. Для этого выберите команду меню Вид/ Разрешение... . Команда доступна, если окно, с которым Вы работаете, — изображение поверхности, гистограмма, сечение или кривая. Если команда Разрешение... выполнена для поверхности, на которой нет измеренного расстояния, появится диалоговое окно, показанное на рис. 3.13(a).

В этом окне Вы можете указать новые единицы измерения по вертикали и горизонтали — для этого предназначены два поля Единицы. В поле Размер по Z указывается перепад высот на поверхности.

Более подробно остановимся на поле На 1 бит. В формате файлов ФемтоСкан Онлайн значения по оси Z хранятся как целые числа размером в два байта. Для перевода целых чисел в реальные значения используются коэффициенты. Если Вы открываете файл другого формата, в котором высота хранится в другом виде, программа преобразует данные в свой двухбайто-

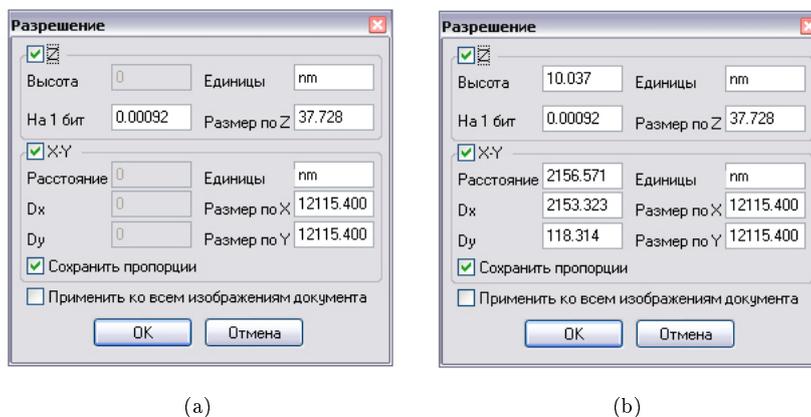


Рис. 3.13. Окна для изменения масштаба изображений поверхностей.

вый формат. В поле На 1 бит указывается высота, соответствующая одному биту из указанных двух байт формата ФемтоСкан Онлайн.

В полях Размер по X и Размер по Y указываются горизонтальные размеры изображения. Если отмечена опция Сохранить пропорции, то отношение размеров изображения по X и по Y останется каким было, в противном случае вы сможете менять размеры по этим двум осям независимо. Если отмечено Применить ко всем изображениям документа, на всех изображениях файла будет установлен одинаковый масштаб, а если эти слова не отмечены, изменения будут происходить только с выбранным изображением.

Некоторые поля в окне на рис. 3.13(a) недоступны для изменения. Они могут быть доступны только тогда, когда на поверхности измерено некоторое расстояние, или команда Разрешение... выполнена для сечения, кривой или гистограммы.

Окно, показанное на рис. 3.13(b), появилось при выполнении команды Разрешение... для сечения. В этом окне в поле Высота указывается высота некоторого объекта. Для сечения или кривой этим объектом будет разность высот между метками на штриховых линиях (раздел 3.7.2), для гистограммы — разность высот между штриховыми линиями (раздел 3.9.4). В поле Расстояние указывается расстояние между штриховыми линиями на сечении, кривой или измеренное расстояние на поверхности (раздел 3.7.3), а в полях Dx и Dy — x- и y-проекции этого расстояния.

Если Вы хотите изменить разрешение только по одному направлению (только горизонтальное или только вертикальное), оставляйте неотмеченной метку Z (X-Y), чтобы избежать автоматической смены разрешения по второму направлению.

3.4 Переключение в полноэкранный режим

Все окна с графическими изображениями можно просматривать в полноэкранном режиме. Для перехода в полноэкранный режим нужно нажать комбинацию клавиш Ctrl-F или выбрать команду меню Вид/ Полный экран. Выход из полноэкранного режима осуществляется повторным нажатием клавиш Ctrl-F, либо Esc, либо при смене выбранного окна (при переходе в другое приложение по клавишам Alt-Tab или при активации другого окна, например опций изображения).

3.5 Получение изображений с других устройств

С помощью программы ФемтоСкан Онлайн можно получать изображения от сканеров и видеокамер.

3.5.1 Видеокамеры

Программа позволяет видеть на экране компьютера то, что снимает видеокамера, записывать видео-файлы и извлекать отдельные кадры, которые потом можно обрабатывать.

Для начала процесса достаточно выбрать команду меню **Файл/ Захват.../ Видео** или нажать кнопку , при этом на экране появится окно, в котором будет показываться видеосъемка. Для выбора видеоприбора и настройки других параметров, таких как кодек, используемый при записи видео, частота съема кадров, а также настройки, которые предоставляет драйвер видеоприбора, необходимо нажать правую кнопку мыши на видео-окне.

Чтобы получить текущий кадр как рисунок, с которым можно работать, выберите команду меню **Видео/ Захват кадра** или нажмите кнопку . После этого появится новое окно, где будет показан кадр. Полученный рисунок будет содержать два подизображения с растровым рисунком BMP и файлом SPM, в программе ФемтоСкан Онлайн можно обрабатывать только второе подизображение.

Кроме отдельных кадров, можно получать рисунки, являющиеся результатами усреднения нескольких кадров. Для этого предназначена команда меню **Видео/ Захват множества кадров** и кнопка . После выбора такой команды появится окошко, в котором нужно указать интервал между усредняемыми кадрами и их количество. По нажатию кнопки **Запуск** в этом окне, начинается выборка кадров и их усреднение. Усредненное изображение будет выводиться в формате SPM. Перед началом преобразования появится окно **Опции преобразования в Bitmap**, показанное на рис. 3.14, в котором можно будет настроить параметры преобразования. При преобразовании цвета в высоту, программа будет делать высоту пропорциональной сумме интенсивностей трех компонент цвета с весами, указанными в этом окне. Если отмечено поле **Инвертировать кадр**, программа будет считать рисунок негативом, и вычислять высоту соответствующим образом. После нажатия на кнопку **Convert** преобразование будет завершено, полученное изображение станет доступно для обработки.

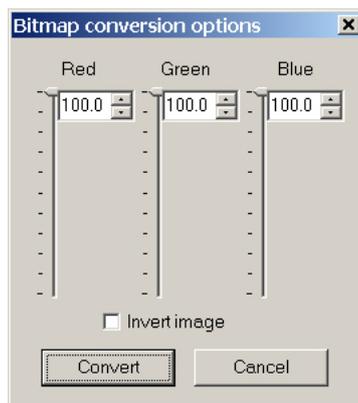


Рис. 3.14. Окно для выбора параметров преобразования растрового рисунка в СЗМ-изображение.

Для записи видео выберите команду меню **Видео/ Запись** или нажмите кнопку . Для остановки записи выберите команду меню **Видео/ Остановить** или нажмите кнопку . Имя

файла, в который будет производиться запись, и путь к нему устанавливается в опциях, вызываемых по нажатию правой кнопки мыши.

Видео-окно можно масштабировать, перетаскивая за угол. Для восстановления исходных размеров видео-окна выберете команду меню Видео/ Восстановить реальный размер.

3.5.2 Сканеры

Перед получением статических изображений, используется команда меню Файл/ Захват.../ TWAIN.../ Выбрать источник.... В появившемся окошке выберите нужное устройство.

Когда указано имя используемого сканера, можно выбрать команду Захватить..., находящуюся в том же меню. По этой команде запускается программа сканирования, которая установлена на вашем компьютере для управления выбранным сканером. После успешного сканирования, в программе ФемтоСкан Онлайн появится окно с полученным изображением, формат изображения — растровый рисунок. Как сделать изображение доступным для дальнейшей обработки написано в предыдущем разделе.

3.6 Работа с палитрой

Вид изображения во многом зависит от того, какие цвета поставлены в соответствие высотам — от палитры. В программе есть несколько готовых цветовых палитр, кроме того, пользователю предоставляется возможность создавать свои собственные палитры. Если по какой-то причине изображение палитры на панели инструментов отсутствует, то его можно вызвать, поставив галочку в меню Вид/ Панели напротив Шкала. Выбор палитры осуществляется нажатием правой клавиши мыши на изображении палитры — в ответ появляется выпадающее меню со списком палитр.

Командой Новая палитра выпадающего меню вызывается окно создания новой палитры (рис. 3.15). В этом окне вы можете сформировать новую цветовую палитру вручную или восстановить и использовать ранее сохраненную палитру. Для создания новой палитры Вам необходимо задать ее цветовой профиль в трех каналах: красном, синем и зеленом. Справа от окошка для рисования расположен переключатель цветов. Выбрав цвет (по умолчанию вначале выбран красный цвет), проведите линию. Внизу отобразится построенная шкала. Повторите эту операцию для всех трех цветов, чтобы получить желаемый результат. После этого можно нажать на кнопку Сгладить, чтобы выровнять все три линии. Чтобы применить палитру нажмите ОК, чтобы выйти из диалога не сохраняя изменения, нажмите Отмена. Палитры можно сохранять, чтобы использовать в дальнейшем при работе. Для этого нажмите на кнопку “Сохранить”, а потом считывайте сохраненные палитры при помощи команды “Загрузить”.

В нижней части меню, выпадающего при нажатии правой клавишей мыши на палитру, можно выбрать режим масштабирования палитры.

В режиме Авто-масштабирование палитра будет автоматически растягиваться на диапазон от минимального до максимального значений, содержащихся в изображении (рис. 3.16(a)).

В режиме Построчный авто-масштаб палитра настраивается отдельно для каждой строки изображения. В каждой строке она будет растягиваться на диапазон от минимального до максимального значений, содержащихся в данной строке (рис. 3.16(b)).

В режиме Построчный авто-масштаб+выравнивание палитра растягивается на каждую строку изображения, как и в предыдущем случае, но при этом предварительно каждая строка выравнивается - из нее вычитается средний наклон. Получающееся в результате изображение является наиболее контрастным (рис. 3.16).

В режиме Фиксированная шкала пользователю дается возможность самостоятельно отмасштабировать палитру и выделить с ее помощью те детали изображения, которые наиболее

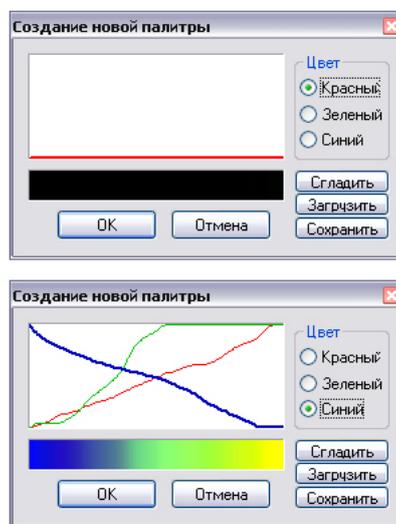


Рис. 3.15. Работа с палитрой.

важны. При переходе в этот режим внизу палитры появятся метки, показывающие соответствие между цветом текущей палитры и высотой точки. Также в центре палитры появятся две перемещаемые планки, сдвигая которые можно менять масштаб шкалы. Центральная половина палитры будет в этом случае отображаться на диапазон значений, соответствующий новому расстоянию между планками. Если в меню Вид напротив пункта Автообновление стоит отметка, то при перемещении планок активное изображение будет автоматически перерисовываться. Для обновления изображения вручную нажмите кнопку  или выберите команду меню Вид/ Обновить. При двойном щелчке по палитре она растягивается от минимума до максимума текущего изображения, как при авто-масштабировании. Другие изображения можно перерисовать в этой же шкале, если выделить их и нажать на кнопку  или сделать двойной щелчок по палитре. Если единицы измерения вертикальной шкалы изображения не совпадают с единицами измерения, установленными на палитре, то для такого изображения палитра будет растянута на половину возможного диапазона данных.

Если Вы выбрали какую-то палитру, то она будет использоваться для всех вновь открываемых изображений, а также для всех уже открытых при их обновлении (помните, что обновление происходит всякий раз, когда вы применяете какой-либо фильтр). Такое поведение можно отменить для каждого конкретного изображения, если поставить галочку в меню Вид/ Запомнить палитру. В этом случае изменение палитры для какого-то другого изображения никак не отразится на палитре данного. Кроме того, если изображение было сохранено с настройкой Запомнить палитру, то открыв его в следующий раз вы автоматически получите старую палитру.

3.7 Режимы курсора

В этом разделе, как и в разделах 3.8 и 3.9, рассказывается о методах работы с поверхностями. Для обработки одномерных изображений (сечений и кривых) эти операции недоступны.

В левой части каждого окна с изображением расположена панель инструментов. Она состоит из восьми кнопок, функции которых мы рассмотрим по-отдельности.

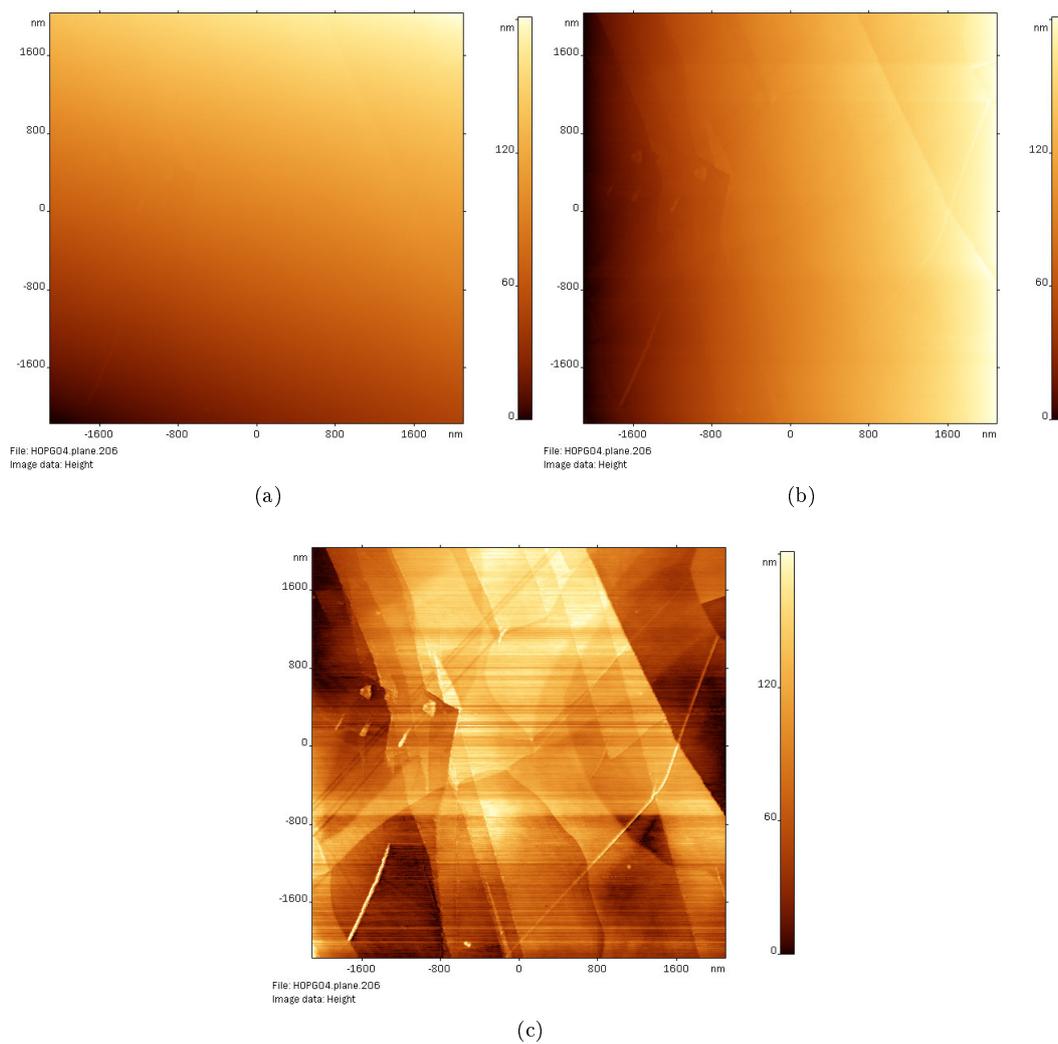


Рис. 3.16. Различные режимы автомасштабирования палитры.

3.7.1 Выделение участков поверхности

Верхняя кнопка — это режим курсора Выделение. В этом режиме Вы можете выделять участки поверхности для их последующей обработки. Нажав на кнопку  и удерживая левую кнопку мыши, вы можете выбрать один из трех режимов: выделение прямоугольной области , выделение области в форме эллипса  или выделение области, заключенной внутри изолинии (т.е. линии постоянной высоты) .

Можно выделить участок сложной формы. Для этого выделите последовательно несколько областей, удерживая клавишу Ctrl. (рис. 3.17). Области выделения можно не только складывать, но и вычитать друг из друга. Для этого вместо Ctrl удерживайте клавишу Alt. Передвигать выделенную область можно, удерживая клавишу Shift. Можно инвертировать выделение. Для этого используйте команду Правка/ Инвертировать выделенное.

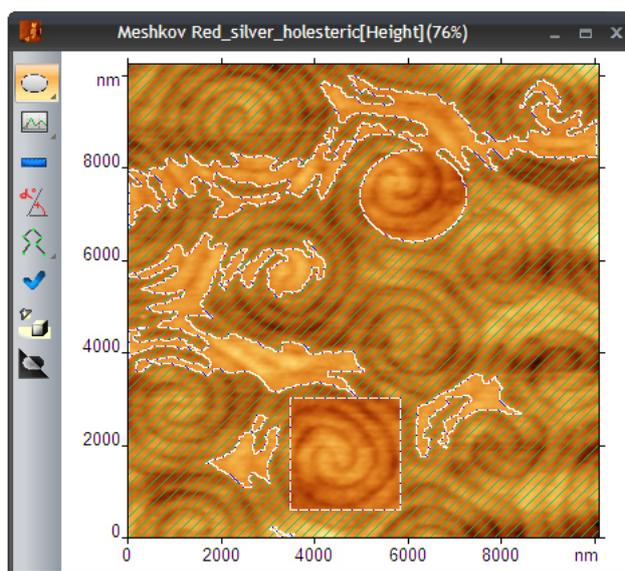


Рис. 3.17. Выделение участков.

3.7.2 Сечения

При помощи кнопки  можно построить различные сечения изображения. Нажав на кнопку и удерживая ее нажатой можно выбрать один из трех режимов этого инструмента: построение сечения по произвольному отрезку , построение сечения строки  или сечений столбца . Для построения сечения строки или столбца выберите соответствующий инструмент и щелчком мыши укажите ту точку на изображении, через которую хотите провести сечение. На экран будет выведено окно с профилем выделенной строки (столбца) (рис. 3.18). При помощи стрелок можно переместить выделение на другую строку (столбец) изображения, сечение будет перерисовано автоматически.

Обратите внимание на меню Вид/ Настройки. Во вкладке Выделение собраны удобные инструменты для работы с сечениями и выделениями. Если для параметра Притягивать курсор выбрано значение Нет, то границы выделения и крайние точки сечений будут располагаться ровно там, где пользователь указал мышью. Если же для этого параметра выбраны значения к Максимуму или к Минимуму, то границы будут немного сдвигаться, автоматически определяя

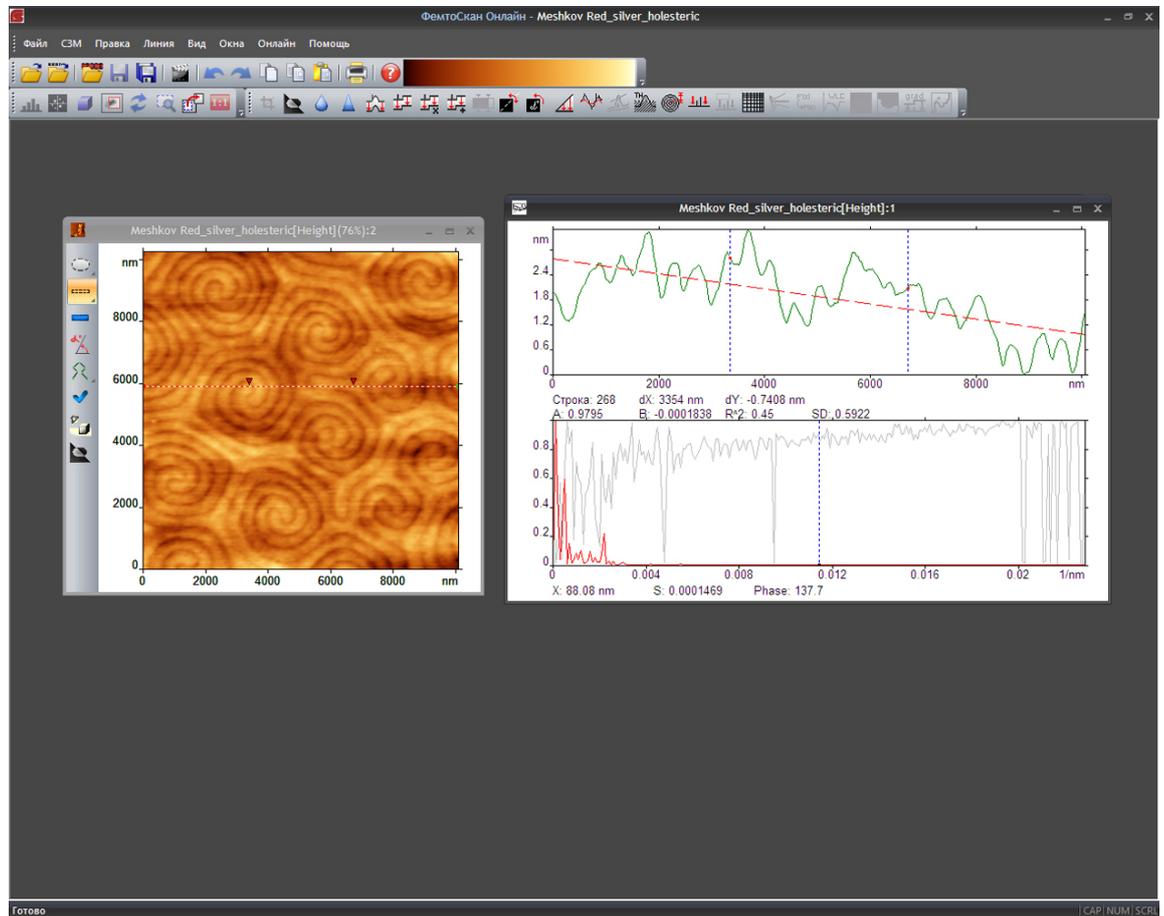


Рис. 3.18. Построение сечений.

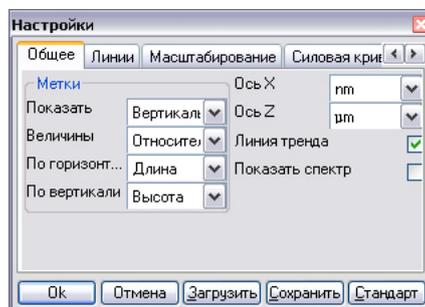


Рис. 3.19. Окно настройки параметров сечения.

ближайший к указанной точке максимум или минимум.

Одновременно с сечением можно увидеть его спектр, а также линию тренда, которая характеризует общий наклон данной строки. Также можно регулировать количество текстовой информации, выведенной под графиком. Настройка параметров сечения может проводиться из меню Вид/Настройки... в то время, когда сечение является активным окном, или по нажатию правой кнопки мыши на окне сечения. В появившемся окне Настройки есть восемь закладок. Закладка Общее (рис. 3.19) дает возможность определить, какие данные будут выводиться вместе с сечением. Можно вывести на экран или скрыть спектр изображения (в поле спектра красным цветом нарисован спектр мощности, а серым — спектр фазы), отобразить или скрыть линию тренда и ее параметры (коэффициенты $y = Ax + B$, среднеквадратичное отклонение R^2 и стандартное отклонение SD). Можно выбрать различный характер пунктирных меток, предназначенных для измерения расстояния между различными точками сечения. Вертикальные метки позволяют измерять расстояние (или другие параметры, см. ниже) по вертикали и горизонтали между ними. Перекрестье позволяет измерять расстояние от начала координат до отметок.

В закладке Линии настраивается цвет линий профиля и тренда, толщина основной линии.

В закладке Масштабирование можно отрегулировать масштаб по осям графика. По умолчанию он определяется автоматически. Для горизонтальной оси можно установить режим Фиксированный масштаб или Фиксированная ширина. В первом случае при изменении размеров окна сечения будут меняться и размеры самого сечения. Во втором случае ширину сечения изменить будет нельзя. Для вертикальной оси сечения можно выбрать режим Авто, при этом масштаб по вертикальной оси будет выбран так, чтобы профиль полностью заполнял рамку сечения. В режиме Фиксированный можно указать размер вертикальной шкалы.

В закладке Границы настраиваются отступы от графика до границ окна, расстояние между графиком и текстовой подписью к нему. Шрифт подписи и цвет фона настраиваются во вкладке Шрифт и Фон соответственно. Настроить цвет подписей и осей, их толщину можно во вкладке Легенда.

Метки на сечении представляют собой две штриховые линии, которые могут быть расположены вертикально или перекрещиваться (см. выше). Передвигая метки с помощью левой клавиши мыши Вы можете измерять расстояния и высоты на построенном профиле. Одновременно с перемещением этих линий на изображении поверхности перемещаются два треугольных курсора, соответствующие положению линий. Нажав правой клавишей мыши на поле сечения, в меню Настройки Вы можете изменить характер величин, рассчитываемых для участков кривых между метками, по горизонтали и вертикали. По горизонтали может вычисляться расстояние между метками, контурная длина, интеграл или площадь между участком кривой и отрезком, соединяющим ее концы. При этом те участки площади, которые расположены выше кривой берутся с плюсом, а те, которые расположены ниже - с минусом. По вертикали может вычисляться расстояние между крайними точками или угол наклона соединяющего их отрезка. На изображении спектра сечения Вы, с помощью таких же линий, можете получать значения мощности и фазы.

Абсолютно аналогичен в использовании и настройках инструмент . Он позволяет построить сечение вдоль любого отрезка. Для этого, удерживая нажатой левую кнопку мыши, проведите линию на изображении. В окне сечения будет построен ее профиль.

Дополнительно выделение строк и столбцов можно использовать в том случае, если на изображении присутствует строка (столбец) с плохим профилем. Выделив, ее можно исправить командой меню Линия/ Сгладить . В результате выполнения этой команды выбранная строка заменяется средним значением двух соседних строк. Команды меню Линия/ Заменить на Верхнюю и Линия/ Заменить на Нижнюю заменяют выбранную строку на соседнюю сверху или снизу. Команда меню Линия/ Убрать удаляет линию из изображения.

3.7.3 Измерение расстояний

Следующая кнопка в панели инструментов изображения  — это режим измерения расстояния. Он позволяет измерять расстояния на поверхности изображения. Для этого проведите на изображении линию, удерживая нажатой левую кнопку мыши. Расстояния измеряются в проекции на плоскость X-Y, без учета расстояния по вертикали (по оси Z). Измеренная величина выводится рядом с построенной линией.

3.7.4 Измерение углов

Инструмент  предназначен для измерения углов. В нем производится измерение углов между двумя отрезками. Сначала, удерживая нажатой левую кнопку мыши, проведите линию, соответствующую первому отрезку, а затем таким же образом постройте второй. При этом, когда вы указали первый конец отрезка и, удерживая нажатой левую кнопку мыши, двигаете его второй конец, в левом нижнем углу окна программы показано, какой угол отрезок образует с горизонталью.

3.7.5 Построение кривых

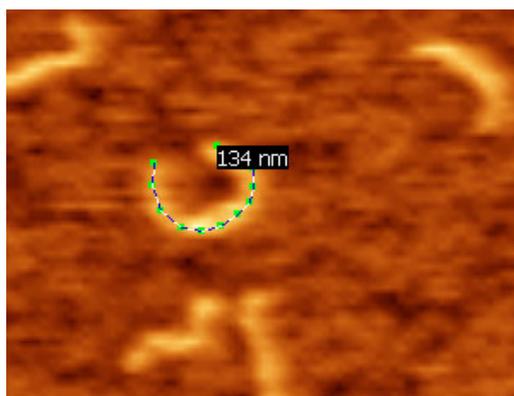


Рис. 3.20. Измерение длин кривых.

Следующая кнопка на панели объединяет в себе два режима для построения кривых и измерения их длин. Инструмент  позволяет вручную расставить точки вдоль измеряемой кривой и ее длина будет подсчитана автоматически (рис. 3.20). Чтобы удалить кривую, наведите курсор на ее начало (отмечено зеленым квадратом) и нажмите левую клавишу мыши. Если Вы нажмете на какую-либо другую из расставленных точек, то она будет удалена из кривой, а предшествующая ей и последующая точки соединятся. Для добавления новой точки между двумя существующими подведите курсор к отрезку, соединяющему их, и нажмите левую кнопку мыши. Точки кривой можно перемещать, удерживая нажатой клавишу Shift.

Можно построить одновременно несколько кривых. Для того, чтобы начать отмечать новую кривую, а не продолжать старую, при следующем нажатии левой кнопки мыши удерживайте нажатой клавишу Ctrl. Начнется новая активная кривая. Чтобы вернуться к предыдущей кривой, наведите на нее курсор. После того, как курсор изменит форму, щелкните мышью по кривой, и она станет активной, рядом с ее началом будет выведена информация о длине.

Все построенные кривые можно удалить одновременно командой меню Вид/ Очистить/ Кривые. При необходимости каждая кривая может быть преобразована в сечение с помощью

команды меню *Операции/ Преобразовать кривую в сечение*.

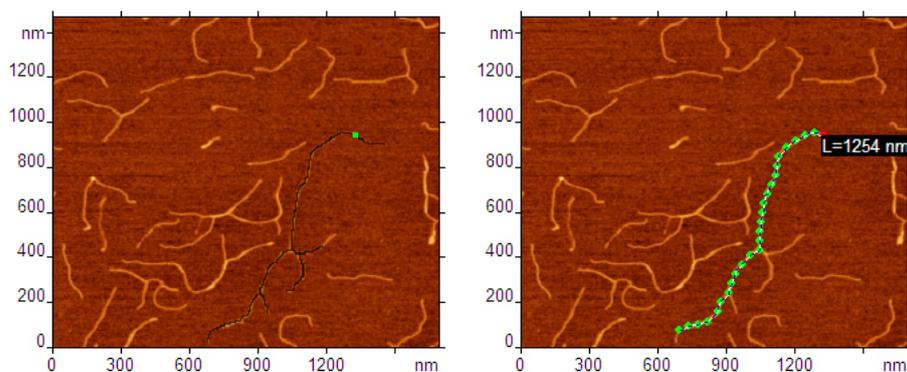


Рис. 3.21. Выделение протяженных объектов.

Второй инструмент —  переводит курсор в режим выделения протяженных объектов. Подведите курсор к одному из концов протяженного объекта, нажмите на левую кнопку мыши и удерживайте ее в течении некоторого времени. Появится точка и очертится контур объекта (рис. 3.21). Не отпуская левую кнопку мыши нужно провести курсор вдоль контура объекта до его конца и отпустить левую кнопку мыши. Вдоль обведенного контура будет построена кривая, состоящая из множества соединенных друг с другом отрезков (рис. 3.21).

Можно построить одновременно несколько кривых. Это происходит автоматически при выборе новой начальной точки. Если линия, которую Вы хотите обвести, прерывается на несколько строк изображения, а потом продолжается снова, то ее можно составить из двух кусков. Для этого выделите первый кусок так, как это написано выше. Затем, удерживая клавишу *Ctrl*, укажите точку в которой начинается вторая половина кривой. При этом активная кривая будет достраиваться, а крайние точки соединятся по прямой. В целом же, работа с выделенными таким образом объектами полностью аналогична работе с кривыми, построенными вручную.

3.7.6 Расстановка меток

Инструмент  позволяет расставлять метки на изображении. Вид меток определяется в меню *Вид/ Стилль меток*. Если выбрано поле *Нумерация*, то возле каждой метки будет выводиться ее порядковый номер. Метки могут выводиться в виде стрелочек (*Стрелки*), либо в виде галочек (*Галочки*). Удалить метку можно, наведя на нее курсор (до появления красного креста) и щелкнув левой кнопкой мыши. Или можно удалить все метки, выбрав команду меню *Вид/ Очистить/ Метки*. Метки можно перемещать при нажатой клавише *Shift*. При переключении режима курсора метки сохраняются.

3.7.7 Боковая подсветка

По нажатии на кнопку  на изображении включается и выключается боковая подсветка. При выполнении этой операции изменяется цвет каждой точки изображения. Новый цвет точки определяется уже не ее высотой, а углом наклона поверхности в данной точке (такого рода операции называют градиентными преобразованиями).

3.7.8 Инверсия цветовой палитры

Последняя кнопка на панели инструментов  позволяет изменить палитру изображения таким образом, что возвышенности станут того цвета, которого были углубления и наоборот, т.е. при выполнении функции палитра заменится на инвертированную. Аналогичная функция из меню Математика/ Инвертировать работает по-другому. Она изменяет рельеф изображения.

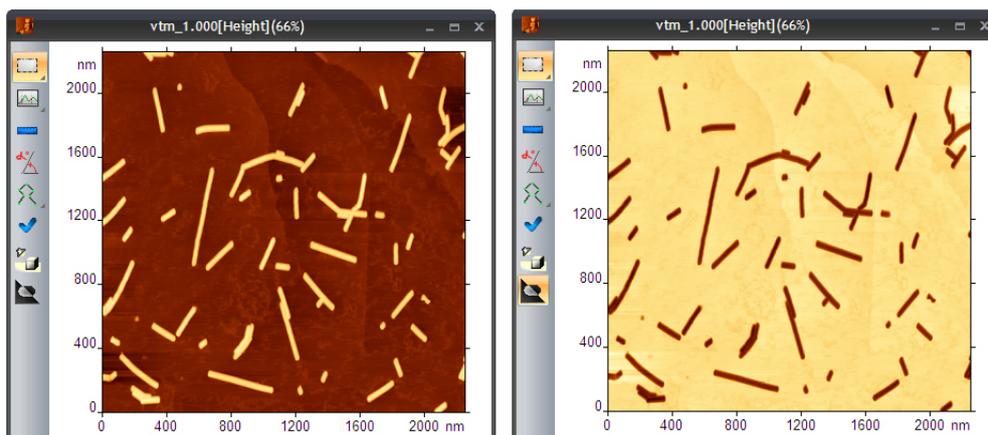


Рис. 3.22. Изображение до (слева) и после (справа) инвертирования.

При повторном нажатии на кнопку  восстанавливается первоначальная палитра.

3.8 Функции обработки данных (меню Математика)

В программе реализован широкий набор различных математических функций обработки и анализа данных. Эти функции расположены в двух меню — Математика и Операции. Разделение функций между меню довольно условно. Команды меню Математика служат, в основном, для корректировки данных, а в меню Операции расположены, главным образом, функции анализа данных. В этом разделе рассматриваются команды меню Математика. Многие из них продублированы кнопками на панели инструментов программы.

3.8.1 Использование макрокоманд

Создавать макросы и управлять ими можно с помощью команды меню Математика/ Макрос... После выполнения этой команды появляется окно Макрос с несколькими панелями (рис. 3.23). На левой панели показан набор возможных команд и кнопки, присвоенные им на панели инструментов. Перетаскивая их мышью на правую панель, вы формируете макрокоманду с именем, которое высвечивается над панелью (например, Новая макрокоманда). Порядок команд можно менять, перетаскивая их с помощью мыши. Если Вы нажмете на кнопку , текущий макрос будет удален. В верхней строчке высвечивается имя макроса, присвоенного кнопке  на панели инструментов. Выбрать редактируемый макрос (если их у вас уже несколько) можно с помощью выпадающего меню. Редактируемый макрос можно привязать к панели инструментов, нажав кнопку . Созданные макросы помещаются в меню Математика в самом низу после разделителя. Первый из них присвоен кнопке  на панели инструментов.

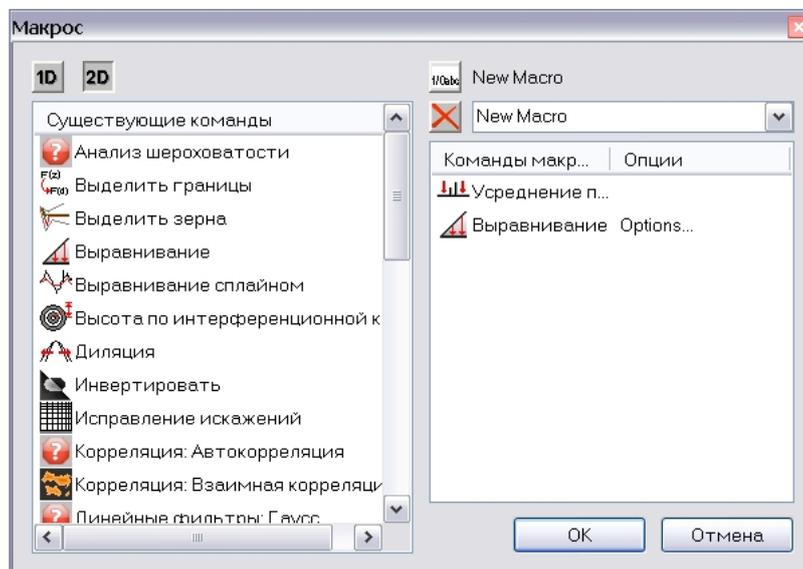


Рис. 3.23. Окно управления макрокомандами.

3.8.2 Обрезание изображений

Если на изображении выделена некоторая область, то с помощью команды Обрезать или кнопки  изображение может быть обрезано по границам прямоугольника, описанного вокруг выделенной области.

3.8.3 Инверсия высоты

Принцип работы функции Инвертировать из меню Математика (кнопка  на общей панели инструментов) существенно отличается от Инвертирования цветовой палитры (кнопка  слева от изображения). При выборе команды Математика/ Инвертировать изменяются данные изображения: весь диапазон значений от минимума до максимума переписывается и присваивается точкам в обратном порядке. То есть точки, в которых было максимальное значение получают после инверсии минимальное, а те, в которых значение было, например, на 1 нм меньше максимального станут на 1 нм больше минимума.

3.8.4 Усреднение

Усреднение выполняется командой Усреднение или нажатием кнопки  на панели инструментов. Размер области усреднения может быть установлен в появляющемся при вызове меню (можно выбрать матрицы 3×3, 5×5 и т.д.). Выбор большой области усреднения приводит к значительному размыванию изображения.

3.8.5 Увеличение резкости

Увеличение резкости осуществляется командой Увеличить резкость (Sharpen) или с помощью кнопки . При увеличении резкости подчеркиваются различия между цветами смежных

пикселей и выделяются малозаметные детали. При обработке каждого пиксела изображения используется ядро резкости — матрица размером 3×3 . Красная, зеленая и синяя цветовые составляющие обрабатываются отдельно и объединяются только после обработки, чтобы сформировать 24-битное значение цвета. В матрице резкости центральный коэффициент больше 1, а остальные отрицательны. Таким образом увеличивается любой существующий контраст между цветом пиксела и цветами его соседей. Конечное изображение выглядит более четко чем оригинал. При повторной обработке изображения четкость может увеличиться еще больше. В данной функции используется матрица 3×3 вида:

$$A = \begin{vmatrix} -1/8 & -1/8 & -1/8 \\ -1/8 & 16/8 & -1/8 \\ -1/8 & -1/8 & -1/8 \end{vmatrix}$$

3.8.6 Фильтр Винера

Данная функция предназначена для уничтожения случайного шума, присутствующего на изображении, с помощью метода фильтрации Винера с маской произвольного размера. Для вызова функции вызовите команду Фильтр Винера или нажмите кнопку  на панели управления.

3.8.7 Медианная фильтрация

Эта операция выполняется командой Медианный фильтр или с помощью кнопки . Подробно об этой функции было сказано во введении. В качестве маски может выступать квадрат с произвольной длиной стороны. Выбор большой маски приводит к значительному размыванию изображения.

3.8.8 Медианная фильтрация маской X

Эта операция выполняется командой Медиана X или с помощью кнопки . В качестве маски используется конфигурация вида \otimes размером 3×3 пиксела.

3.8.9 Медианная фильтрация маской Крест

Эта операция выполняется командой Медианный фильтр крест или с помощью кнопки . В качестве маски используется конфигурация вида \oplus размером 3×3 пиксела.

3.8.10 Оптимизация шкалы

Для внутреннего представления данных в программе используются 16-битные целые знаковые числа. Их диапазон значений — от -32768 до 32767. Для пересчета в реальные значения, которые выводятся пользователю на сечениях, при измерении высот и т.д., используется масштабный коэффициент и значение смещения нуля, которые хранятся отдельно. Но все математические операции, фильтры и преобразования производятся над числами во внутреннем целочисленном представлении. Поэтому, в некоторых случаях может происходить потеря точности при округлении или переполнение, если целочисленные значения находятся в слишком узком или слишком широком диапазоне. Чтобы избежать потери точности, производится операция Оптимизировать шкалу (кнопка ) , которая преобразует целочисленные значения, которые встречаются на изображении, таким образом, чтобы они занимали некую среднюю область в диапазоне возможных значений, от -16384 до +16383. Делается это путем масштабирования и сдвига. Если на изображении есть область (или тип объектов), точность измерения

размеров которых Вас наиболее интересует, то необходимо выделить эту область (или участок поверхности, содержащий только объекты характерного размера) и нажать на кнопку . Данные будут перемасштабированы так, чтобы точность в определении этих высот была максимальной.

3.8.11 Транспонирование изображения

В случае, если Вы снимали изображения одного участка поверхности в двух перпендикулярных направлениях (по X и по Y), то совместить Вы их сможете только с помощью зеркального отображения. Команда Транспонировать изображение (кнопка ) выполняет зеркальное отображение картинки относительно оси $X=Y$.

3.8.12 Поворот

Поворот изображения осуществляется командой Поворот (кнопка ). При этом появляется окно Параметры (рис. 3.24) в котором можно выбрать один из трех типов поворота:

1. По часовой на 90 – поворот на 90 градусов по часовой стрелке;
2. Против часовой на 90 – поворот изображения на 90 градусов против часовой стрелки;
3. На угол – поворот изображения на произвольный угол, заданный пользователем.

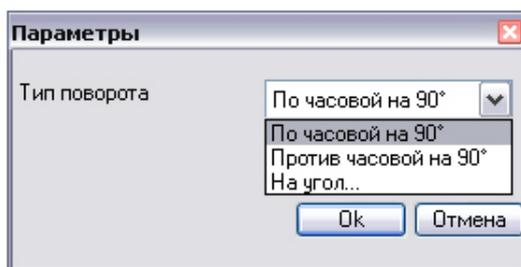


Рис. 3.24. Поворот изображения.

При повороте изображение на угол, отличный от 90 градусов, оно будет смасштабировано, чтобы уместиться в исходном окне.

3.8.13 Выравнивание

Полученные изображения часто имеют общий наклон или общую выпуклость. Такие искажения могут появляться по разным причинам. Как правило они связаны с температурным дрейфом и нелинейностью пьезокерамического манипулятора. Этот макроскопический рельеф обычно мешает выявлению структуры объекта. Чтобы избавиться от него, из исходной матрицы значений вычитают поверхность первого или второго порядка (плоскость, параболу или гиперболу). Выравнивание осуществляется по команде Выравнивание в меню Математика или при нажатии на кнопку , которая находится на панели инструментов.

При выполнении этой команды появляется окно параметров (рис. 3.25), в котором можно указать тип вычитаемой поверхности. Линейная – для поверхности первого порядка (плоскости) или Параболическая – для поверхности второго порядка. Если исходный файл содержит

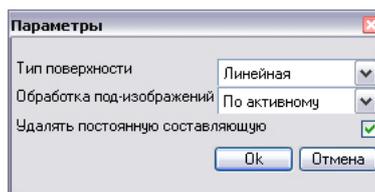


Рис. 3.25. Окно параметров.

несколько изображений, то обрабатывать их можно одинаковым образом или независимо друг от друга. Это определяется параметром Обработка под-изображений:

1. Раздельно – для каждого содержащегося в файле изображения высчитывается средняя поверхность, определенная методом наименьших квадратов для конкретного изображения;
2. По активному – поверхность рассчитывается для активного подизображения, а вычитается из всех;
3. По всем – рассчитываются средние поверхности по всем подизображениям и усредняются.

Если напротив поля Удалять постоянную составляющую стоит галочка, то общее смещение всей поверхности относительно нуля удаляется.

Необходимо помнить, что если перед тем, как вызвать команду Выравнивание , Вы выделите небольшой фрагмент изображения, то при вычисление уравнения поверхности будут использоваться только значения точек, попавших в выделение. При этом построенная поверхность будет вычтена из всего изображения.

3.8.14 Сплайн

Программа ФемтоСкан Онлайн может строить билинейные кубические сплайны для поверхностей и производить вычитание сплайнов из поверхностей. Чтобы вычесть сплайн из поверхности, выберите команду Выравнивание сплайном или нажмите на кнопку .

Для построения сплайна поверхность разбивается на прямоугольники, стороны которых указываются в диалоговом окне, появляющемся при вызове команды, в параметрах Шаг по X и Шаг по Y. Для каждого прямоугольника находится среднее значение высоты поверхности и сплайн строится по центральным точкам прямоугольников, где значениями по оси Z считаются вычисленные средние высоты. Для наилучшей работы данного фильтра лучше выбирать такие размеры сторон прямоугольников, чтобы на изображении укладывалось их целое число.

Как и в случае с вычитанием поверхности, для поля Обработка подизображений может быть выбрано значение:

1. Раздельно – в этом случае для каждого подизображения в отдельности высчитывается вычитаемая поверхность;
2. По активному – в этом случае расчет средней поверхности ведется для активного подизображения, после чего эта поверхность вычитается из всех изображений.

3.8.15 Сглаживание участка поверхности

Сглаживание участка поверхности осуществляется командой Сгладить участок (кнопка ) . Чтобы запустить ее, необходимо выделить участок поверхности, на котором присутствуют ненужные выступы. На периметр выделенного участка, натягивается плоскость, которая заменяет первоначальный рельеф поверхности на выделенном участке (рис. 3.26).

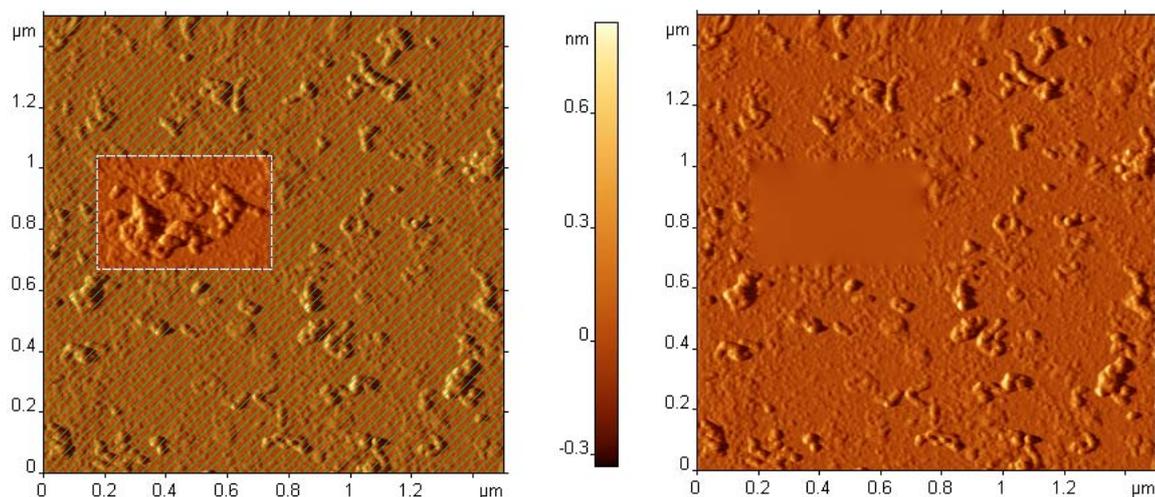


Рис. 3.26. Сглаживание участка поверхности.

Формула, которой описывается эта операция, имеет вид:

$$Z(x, y) = \frac{\sum_{p=0}^P \frac{z_p}{r_p^2}}{\sum_{p=0}^P \frac{1}{r_p^2}},$$

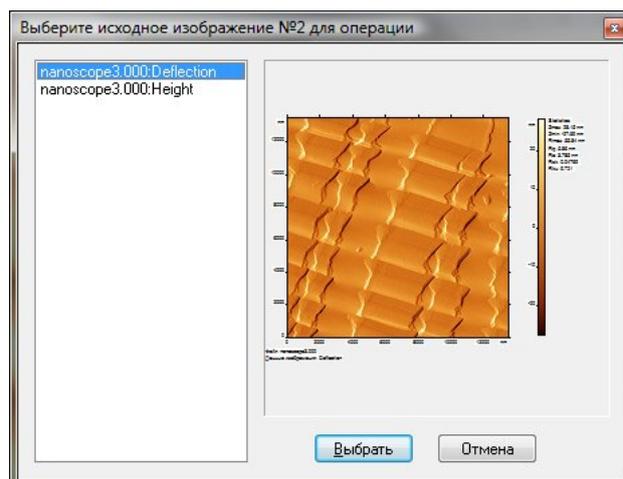
где r_p – расстояние от точки с координатой (x, y) до каждой точки периметра, z_p – высота.

Для того, чтобы этот участок поверхности не оказался неестественно гладким предусмотрена возможность добавления случайного шума.

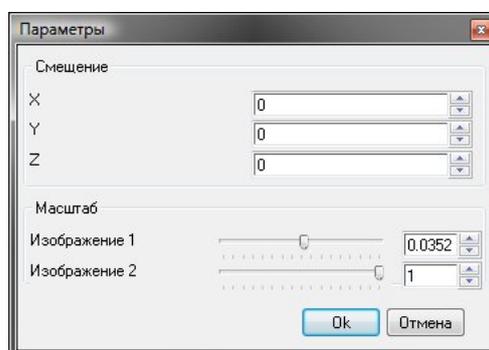
3.8.16 Сложение и вычитание изображений

Команды меню Математика/ Арифметика/ Сумма , Разность и Сложная операция позволяют складывать и вычитать изображения. При выборе одной из этих команд появляется окно выбора изображения (рис. 3.27(a)), которое должно быть прибавлено или вычтено из текущего изображения. Выбрав изображение, нажмите на кнопку Выбрать. Если выполнялась команда Добавить или Вычесть, то сразу будет произведено сложение или, соответственно, вычитание изображений. При этом считается, что левые нижние углы изображений совпадают, а новая высота каждой точки будет получена как сумма или разность высот на исходных изображениях.

Если выполнялась команда Сложная операция, то появится еще окно выбора параметров операции (рис. 3.27(b)). Здесь можно изменить параметры X и Y, которые являются разностью координат (в пикселах) левых нижних углов изображений. Параметры Шкала/Изображение 1 и Изображение 2 влияют на то, как будет считаться высота точек получаемого изображения. Формула, соответствующая данной операции имеет вид $Z = (Scale1) \cdot Z_1 + (Scale2) \cdot Z_2$.



(a) Выбор изображения.



(b) Окно сложения изображений с расширенными возможностями.

Рис. 3.27. Диалоги сложения и вычитания изображений.

Обратите внимание, что по оси Z в разных изображениях могут откладываться разные величины. Помимо высоты по оси Z иногда может быть отложен ток или напряжение. Складывать изображения, на которых показаны разные величины, очевидно, не имеет смысла.

Если среди Z -осей изображений есть совместимые (преобразуемые друг в друга добавлением масштабных множителей, например микро- или нано-), то операция выполняется в этих единицах, причем в первую очередь ищутся единицы длины (нанометры и совместимые с ними), если таковых не находится - производится перебор всех осей, если совместимых и в этом случае не найдено - операция выполняется в единицах самой первой оси каждого изображения.

3.8.17 Морфологические фильтры

В основе морфологических фильтров лежат геометрические преобразования формы одного из объектов посредством другого. В СЗМ микроскопии такими объектами чаще всего являются полученное изображение и модель формы иглы.

Данные фильтры используются для удаления уширений на изображениях поверхностей или объектов, которые появляются из-за конечной формы зонда. А так же удаления эффекта двоения при сканировании вискерными кантилеверами.

Расширение (Dilation)

Расширение (Dilation) – морфологическая операция над двумя множествами точек (A и B), результат которой вычисляется по формуле:

$$D(A, B)(r, s) = \max_{(j, k) \in B} (A(r - j, s - k) + B(j, k))$$

Эта операция над двумя произвольными изображениями иглы и поверхности может быть выполнена командой *Расширение (Dilation)* или нажатием кнопки . Активным при этом должно быть окно обрабатываемого изображения, а изображение иглы следует выбрать в появившемся диалоговом окне.

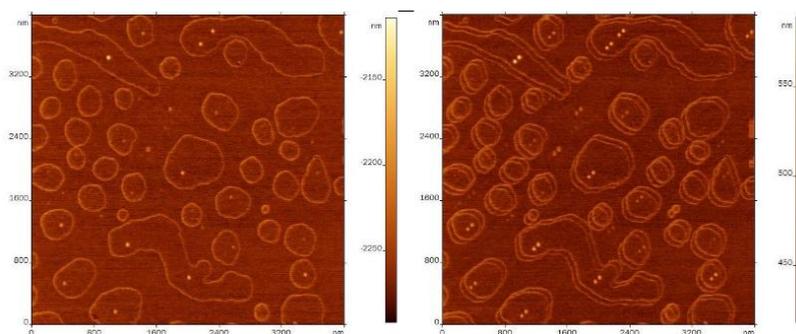


Рис. 3.28. Пример: расширение вискерным кантилевером (появление двоения в изображении).

Эрозия (Erosion)

Эрозия (Erosion) - морфологическая операция над двумя множествами точек (A и B), результат которой вычисляется по формуле:

$$E(A, B)(r, s) = \min_{(j, k) \in B} (A(r + j, s + k) - B(j, k))$$

Эта операция над двумя произвольными изображениями иглы и поверхности может быть выполнена командой *Эрозия (Erosion)* или нажатием на кнопку . Активным при этом должно быть окно обрабатываемого изображения, а изображение иглы следует выбрать в появившемся диалоговом окне.

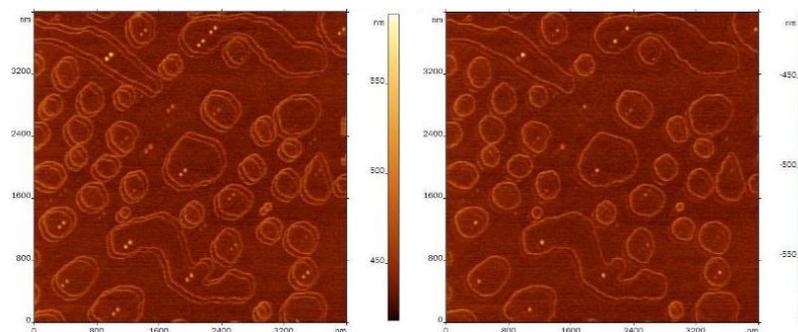


Рис. 3.29. Пример: эрозия вискерным кантилевером (удаление двоения).

Кроме обычных морфологических фильтров, в программе есть фильтры, специально придуманные для сканирующей зондовой микроскопии. Подробно о работе этих фильтров написано в статьях J.S.Villarrubia, *Surface Science* 321 (1994) 287-300 и J.S.Villarrubia, *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.* 102 (1997) 425.

При запуске команды Неискажающая игла производится расчет максимально тупой формы иглы, которая при сканировании не вносила искажений в полученное изображение (или выбранную часть изображения). Другими словами Вы считаете, что данное изображение — точная копия поверхности и ищите такую иглу, которая могла обеспечить такое удачное сканирование.

Фильтр Слепая аппроксимация формы иглы тоже вычисляет максимально тупую форму иглы, с помощью которой могло быть получено изображение (или часть изображения). Но теперь отсутствует требование неискаженности поверхности. В данном случае на форму иглы действует ограничение другого рода. Понятно, что если производится сканирование иглой с некоторым радиусом кривизны, то на изображении не появятся выпуклые объекты с большей кривизной. Таким образом выпуклости на поверхности ограничивают форму иглы.

При запуске фильтра Слепая аппроксимация формы иглы появляется окошко с индикатором прогресса. В ходе работы фильтра производятся итерации, и ожидается, что результат следующей итерации будет отличаться от предыдущей. Если в результате очередной итерации никаких изменений в форме иглы не произошло, работа фильтра завершается. Вы можете завершить работу фильтра и не дожидаясь пока он сделает это сам — для этого нажмите Отменить в окошке запущенного фильтра. При этом результатом работы фильтра будет результат итераций, которую он выполнял при нажатии кнопки Отменить.

По команде Продолжить аппроксимацию формы иглы... появляется окно со списком всех открытых в программе изображений поверхностей. Выберите то окно, где уже находится оценка формы иглы и нажмите Выбрать. Алгоритм данного фильтра тот же, что и у фильтра Слепая аппроксимация формы иглы, с той только разницей что нулевой итерацией будет не плоскость, а выбранная оценка.

По команде Эрозия с учетом иглы... появляется окно, в котором нужно из всех открытых в программе изображений выбрать оценку формы иглы. Работа фильтра заключается в выполнении операции *erosion* над данным изображением с выбранной иглой в качестве структурного элемента.

Моделирование зонда

Данная функция позволяет создавать и моделировать различные формы зондов (Конический, Сложный конический, Пирамидальный, Вискерный) по некоторым известным геометрическим параметрам. Впоследствии созданные изображения зондов можно использовать для проведения операций *Расширения (Dilation)* и *Эрозии (Erosion)*.

Эта функция может быть вызвана командой Моделирование зонда (Tip modeling) или нажатием кнопки . В появившемся окне Parameters можно выбрать форму моделируемого зонда (параметр Type), изменить соответствующие геометрические параметры модели (список параметров зависит от выбранной модели), а так же задать разрешение изображения иглы (параметр Resolution).

1) *Конический зонд (Cone)* Модель конического зонда представляет собой усеченный конус, который к вершине плавно переходит в сферу. Эта модель задается с помощью двух геометрических параметров - угол схождения (параметр Angle) и радиус острия зонда (параметр Radius).

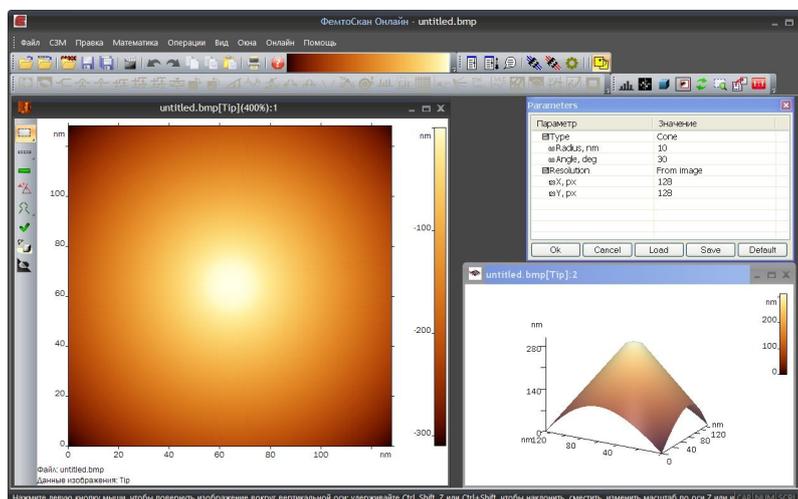


Рис. 3.30. Построение конического зонда

2) *Сложный конический зонд (AdvCone)* Модель сложного конического зонда является усложненным вариантом конического зонда. Различие заключается в том, что острие заканчивается еще одной, малой сферой. Эта модель задается с помощью трех геометрических параметров – угол схождения (параметр Angle), радиус острия зонда (параметр Radius1) и радиус малой сферы (параметр Radius2).

3) *Пирамидальный зонд (Pyramid)* Модель пирамидального зонда – обычная геометрическая фигура пирамида. Задается по одному параметру - высоте.

4) *Вискерный зонд (Visker)* Форма вискерного зонда представляется в виде совокупности двух очень острых, различных по высоте пиков. Модель задается по четырем параметрам – радиус шипа (Radius), угол ориентации одного шипа относительно другого в плоскости перпендикулярной их направлению (Angle), расстояние между ними в той же плоскости (Distance) и различие в высоте между шипами (Height difference).

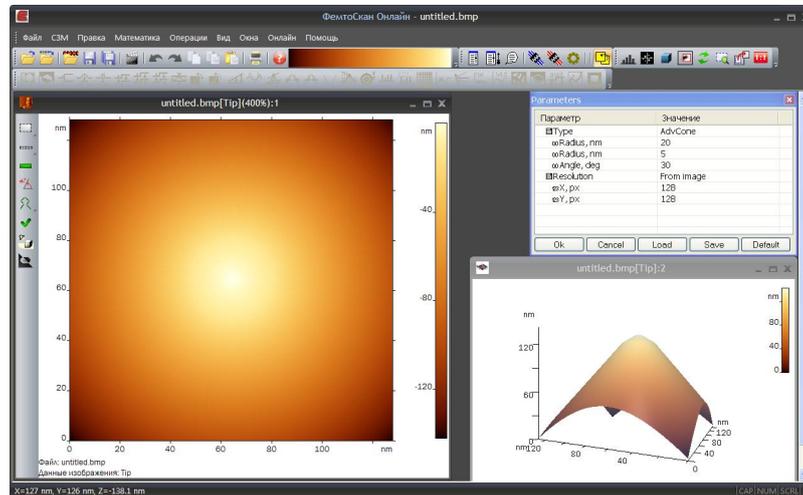


Рис. 3.31. Построение сложного конического зонда

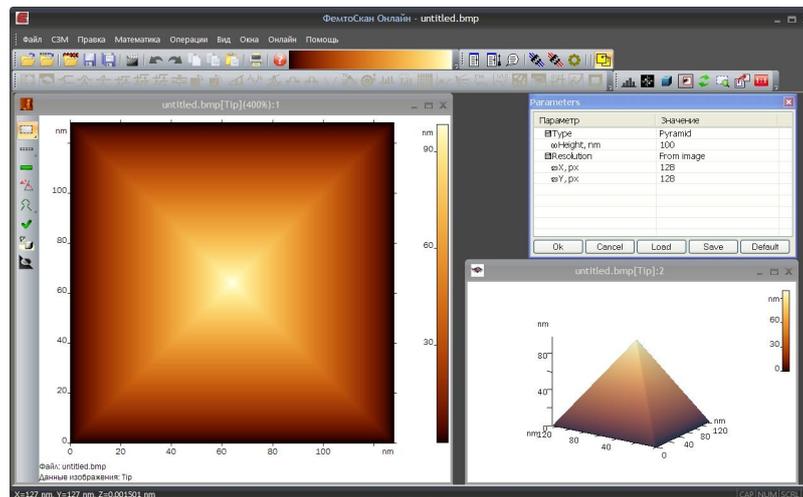


Рис. 3.32. Построение сложного конического зонда

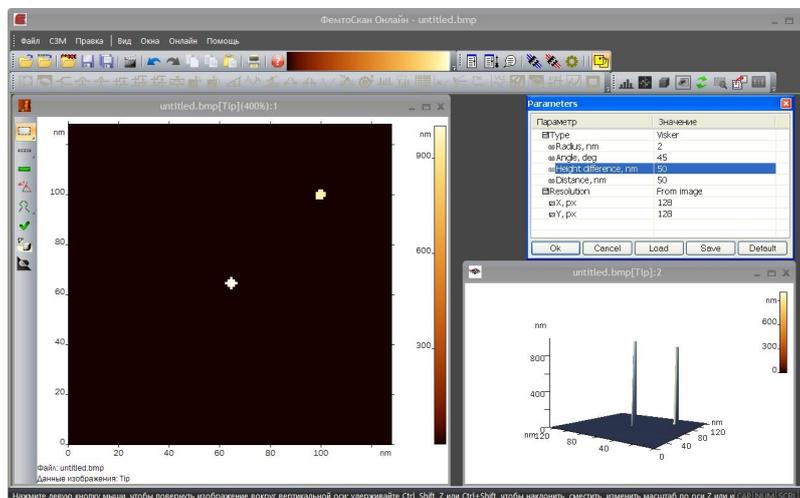


Рис. 3.33. Построение сложного конического зонда

3.8.18 Анализ шероховатости поверхности

Функция Анализ шероховатости вычисляет набор параметров, характеризующих шероховатость поверхности на выделенном участке, или на всем изображении. Подробно о параметрах, характеризующих шероховатость рассказано в приложении G. При вызове функции появляется диалоговое окно (см. рис. 3.34), в котором могут быть настроены некоторые опции для дальнейшего анализа. В простейшем случае, шероховатость (а именно R_a , средняя шероховатость) — это среднее арифметическое отклонение профиля сечения от прямой его общего наклона. Для того, чтобы определить среднюю шероховатость поверхности строят несколько ее сечений. Диалоговое окно Параметры дает возможность выбрать количество таких сечений, расстояние между соседними сечениями, длину сечений и угол их наклона к горизонтали.

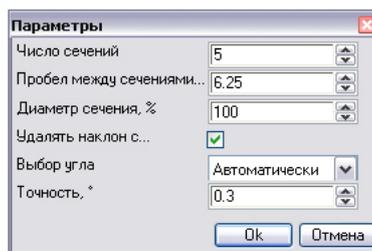


Рис. 3.34. Окно настройки параметров анализа шероховатости.

Угол наклона можно задавать вручную. Если же поверхность представляет собой сложную структуру, то лучше использовать автоматическое определение угла. В этом случае сечения будут проведены в направлении, перпендикулярном направлению с наименьшей шероховатостью. Дополнительно будет выведено окно с гистограммой, по которой определялось это направление. Это зависимость среднего количества пересечений сечения со своей средней линией от угла. Минимум этой зависимости соответствует направлению ступеней. Параметр Точность — это шаг по углу, который используется при построении графика.

3.8.19 Пороговая фильтрация

При вызове команды Пороговая фильтрация  появляется диалоговое окно, показанное на рис. 3.35. В нем можно задать пороговый уровень (в долях от максимальной высоты изображения), и определить, каким образом будут обрабатываться точки, оказавшиеся выше и ниже него. Если напротив поля Установить выше стоит галочка, то во всех точках, где высота превышает пороговый уровень, она будет установлена на значение, равное максимальной высоте поверхности, либо высоте порогового уровня, в зависимости от выбранного. Аналогично, если галочка стоит напротив поля Установить ниже, то на минимальное или пороговое значение будут устанавливаться высоты точек, находящихся ниже порога.

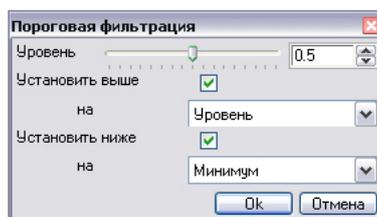


Рис. 3.35. Окно выбора порогового уровня.

3.8.20 Высота по интерференционной картине

Данная функция предназначена для измерения крутизны ростового холмика на поверхности кристалла по интерференционной картине, полученной, например, при помощи захвата изображения с видеокамеры.

Для начала необходимо выбрать отрезок, по которому вы хотите определить наклон. Если интерференционная картина имеет вид ровных окружностей или полос, то для этого можно использовать режим курсора Сечение или Расстояние. Если же она искривляется, то постройте такую ломаную, которая обходит дефекты.

Когда отрезок выбран, в меню Математика необходимо вызвать функцию Высота по интерференционной картине (Математика/Высота по интерференционной картине или кнопка ). При вызове функции появится меню с параметрами (рис. 3.37), в котором задается длина волны падающего излучения, которое генерирует интерференционную картину, и порог в процентах от максимальной амплитуды. Он нужен для того, чтобы случайный шум на изображении не был принят за максимум или минимум интерференционной картины.

Первоначально вычисления будут произведены с параметрами по умолчанию. Если они не соответствуют данному случаю, то их следует заменить. Результаты выводятся в виде таблицы (рис. 3.38), в которую записывается величина падения высоты на выбранном отрезке (Drop) и расстояние между концами построенной линии (Distance). Если это возможно для данных единиц измерения, то вычисляется угол наклона кристалла на выбранном участке (Angle).

3.8.21 Найти центр масс

Эта функция позволяет определить, в какой части поля расположен центр масс объектов. Результат выводится в отдельном окне в виде пары координат XY, а точка остается отмечена на изображении зеленым.

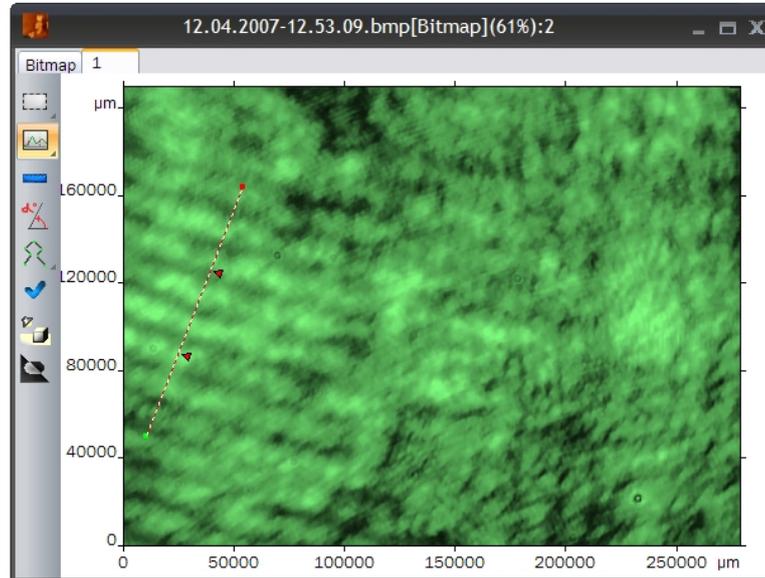


Рис. 3.36. Выделение отрезка на интерференционной картине.

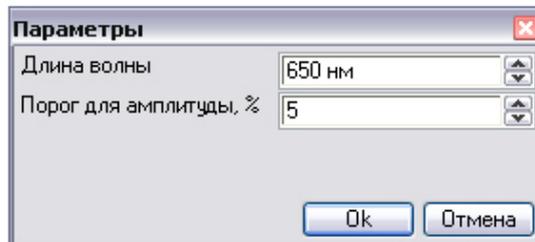


Рис. 3.37. Параметры функции.

N	Drop, nm	Distance, мкм	Angle, deg
1	1201.08	1661.09	0.0414285

Рис. 3.38. Результаты вычислений.

3.8.22 Анализ зерен

Функция предназначена для определения истинных геометрических характеристик объектов на поверхности. Наилучший результат она дает при работе с выпуклыми объектами, периметр которых близок к окружности.

Для начала выделите на исходном изображении область, содержащую ровно один интересный объект (рис. 3.39). Нажмите на кнопку  или выберите пункт меню Математика/Анализ зерен. Появятся два новых окна: окно сечения и диалоговое окно. Кроме этого, на исходном рисунке появятся дополнительные декорации.

Объект выделяется автоматически. На изображении он будет подсвечен полупрозрачным синим цветом и обведен синей контурной линией. Самая верхняя точка (максимум) будет отмечена на изображении жирной синей точкой.

При вызове функции ее параметры настраиваются автоматически. В соответствии с ними вычисляются следующие значения:

1. Area, мкм² — это площадь объекта. Она определяется как площадь фигуры, ограниченной синей линией в плоскости XY (без учета высоты).
2. Circularity — это величина, характеризующая близость формы контура объекта к окружности. Определяется она как отношение площади объекта (Area) к площади окружности эквивалентного периметра.
3. Neigh, нм — это высота объекта. Расстояние от точки максимума до базисной плоскости (подробнее о том, как строится базовая плоскость рассказано ниже)
4. Perimeter, мкм — длина контурной линии в проекции на плоскость XY.
5. Volume, нм³ — Объем объекта. Он определяется по формуле $\sum_{i,j} S_{i,j} * h_{i,j}$, где сумма берется по всем точкам, определенным как часть объекта, $S_{i,j}$ — площадь элемента площади в плоскости XY, а $h_{i,j}$ — высота в этой точке (до базисной плоскости).

Диалоговое окно предназначено для более точного построения базовой плоскости. Плоскость строится по двум перпендикулярным прямым. Угол поворота этих прямых (базисных линий) относительно изображения определяется параметром Угол сечения. Наклон базисных линий относительно вертикали можно скорректировать вручную при помощи параметров Наклон базовой линии 1 и Наклон базовой линии 2. Дополнительный сдвиг плоскости в направлении оси Z задается параметром Смещение базовой плоскости. На исходном изображении точки, находящиеся ниже базовой плоскости, дополнительно подсвечиваются полупрозрачным серым цветом. В идеале Вы должны настроить базовую плоскость таким образом, чтобы весь объект подсвечивался светлосиним тоном, а все точки вне объекта закрашивались серым, то есть находились ниже базовой плоскости.

Когда базовая плоскость выбрана, и все характеристики объекта определяются правильно, можно нажать на кнопку Добавить объект. При этом появятся еще два окна: окно гистограммы и таблица со списком объектов. Данные объекта, с которым Вы работали будут внесены в таблицу. Теперь можно выделить новую область на исходном изображении и перейти к обработке следующего объекта. Для того, чтобы удалить какой-либо объект из таблицы, снова обведите на изображении область, в которой он находится (при этом объект на изображении будет подсвечен синим), и нажмите на кнопку Удалить объект. Можно не удалять объект, а перенастроить параметры для его выделения.

По мере накопления списка, строится гистограмма распределения объектов по выбранному параметру. Для выбора параметра выделите соответствующую колонку в таблице. Внизу

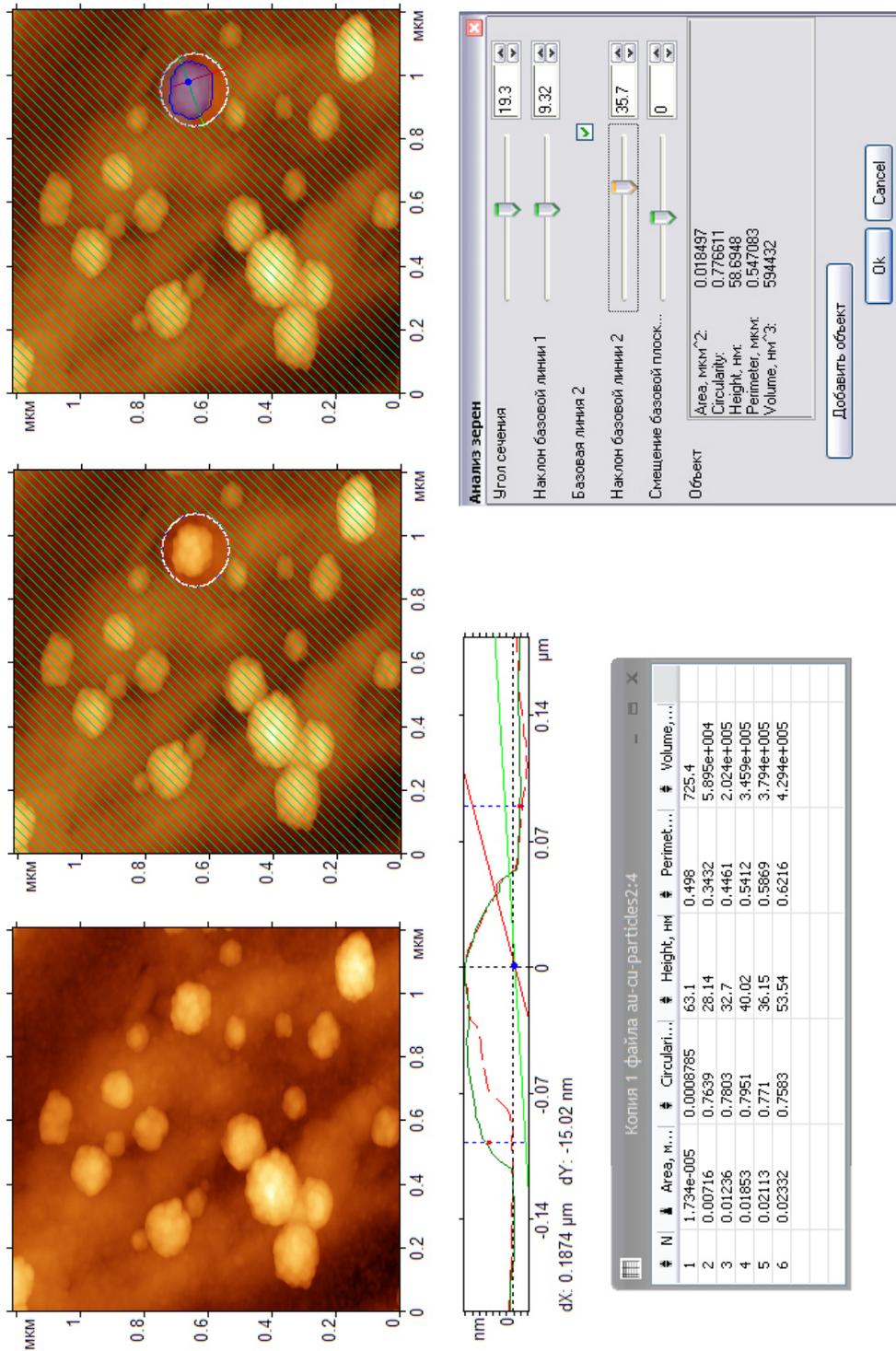


Рис. 3.39. Работа с функцией Анализ зерен.

окна гистограммы показаны значения параметра в тех двух точках, в которых расположены вертикальные метки, и общее количество объектов, попадающих в выделенный интервал (N). Как и в других функциях, можно осуществлять отбор элементов по гистограмме, передвигая вертикальные метки. Список объектов в таблице при этом корректируется автоматически.

Закончив выделение объектов, нажмите кнопку ОК. Диалоговое окно будет закрыто, а все остальные окна останутся и Вы сможете продолжить работу. Для того, чтобы убрать все лишние элементы с исходного изображения, выберите пункт меню Вид/ Очистить /Декорации.

3.8.23 Усреднение по строкам

Подробное описание этой функции дано во введении. Усреднение по строкам может быть выполнено по всему изображению (меню Математика/ Усреднение по строкам/ Все изображение и кнопка ) или по области, не включающей выделенную (меню Математика/ Усреднение по строкам/ Исключая выбранное или кнопка ).

3.8.24 Исправление искажений

Функция исправления искажений (кнопка ) предназначена для корректировки изображения в соответствии с информацией о калибровке. В АСМ-изображениях может значительно проявляться нелинейность пьезокерамического манипулятора микроскопа, из-за этого размеры объектов по краям кадра оказываются увеличены.

При вызове функции появляется окно с параметрами, в котором необходимо задать имя файла, содержащего коэффициенты гистерезиса. Файл должен содержать данные для каждой из осей изображения, в простейшем случае файл будет иметь только два раздела: **x-калибровка** и **y-калибровка-медленно**. Для того, чтобы определить значения этих коэффициентов, сначала получают изображение калибровочной решетки. При этом образец лучше располагать так, чтобы периодические структуры были выровнены вдоль осей сканирования. По изображениям решетки с известным расстоянием между узлами строятся две калибровочные кривые (рис. 3.61). По каждой из кривых создается файл калибровки. При сохранении файлов можно указывать одно и то же имя для обеих кривых – данные будут сохранены в нужную секцию, в зависимости от ориентации кривой (по X или по Y). Во время экспериментов скорость сканирования нужно выбирать таким образом, чтобы на калибровочных образцах и на исследуемой поверхности она была одинаковой.

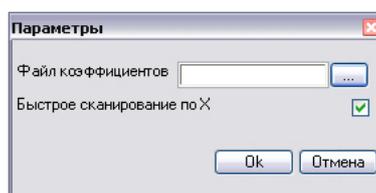


Рис. 3.40. Настройка параметров для исправления искажений.

Теперь сохраненный файл устанавливается в качестве файла коэффициентов в окне параметров (рис. 3.40). И выполняется корректировка искажений на интересующих изображениях командой Исправление искажений (рис. 3.41).

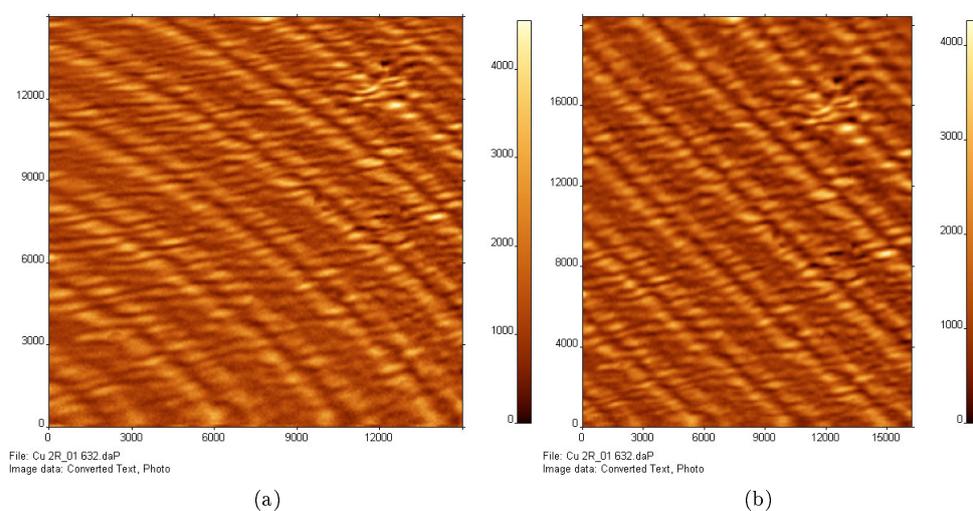


Рис. 3.41. Устранение искажений.

3.8.25 Выделение зерен

Для определения границ между областями, приходящимися на выступающие над подложкой объекты (частицы) применяется команда Выделить зерна (кнопка ). Данная функция лучше работает если исследуемая поверхность состоит из "зерен" (см. рис. 3.42).

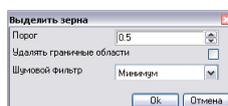


Рис. 3.42. Выделение зерен.

При применении этой функции появляется окно настроек (рис.3.43)

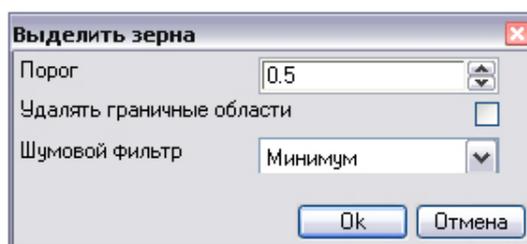


Рис. 3.43. Окно настройки при выделении зерен.

В этом окне задается порог исходя из значения которого отбираются точки, которые потом станут центрами областей. Границы этих областей постепенно расширяются, прибавляя по одному пикселу до тех пор, пока между ними нельзя будет провести граничную линию. Это и

будет разбиение на зерна. Затем, используя операцию Выделить объекты, можно определить площадь зерен.

Еще один параметр — значение шумового фильтра, где:

1. Нет — убирает шумовой фильтр;
2. Медианный — медианная фильтрация, т.е. берется среднее значение;
3. Минимум — берется минимальное значение.

Галочка напротив поля Удалять граничные области означает, что зерна, граница которых проходит по краю изображения, будут удалены из рассмотрения и закрашены черным (то есть обнулены).

3.8.26 Выделение границ

Данная функция осуществляется с помощью команды Выделить границы или кнопки . Функция предназначена для выделения границ объектов методом Канни (см. рис. 3.44). Функция подходит для изображений с крупными объектами, имеющими достаточно четкие границы.

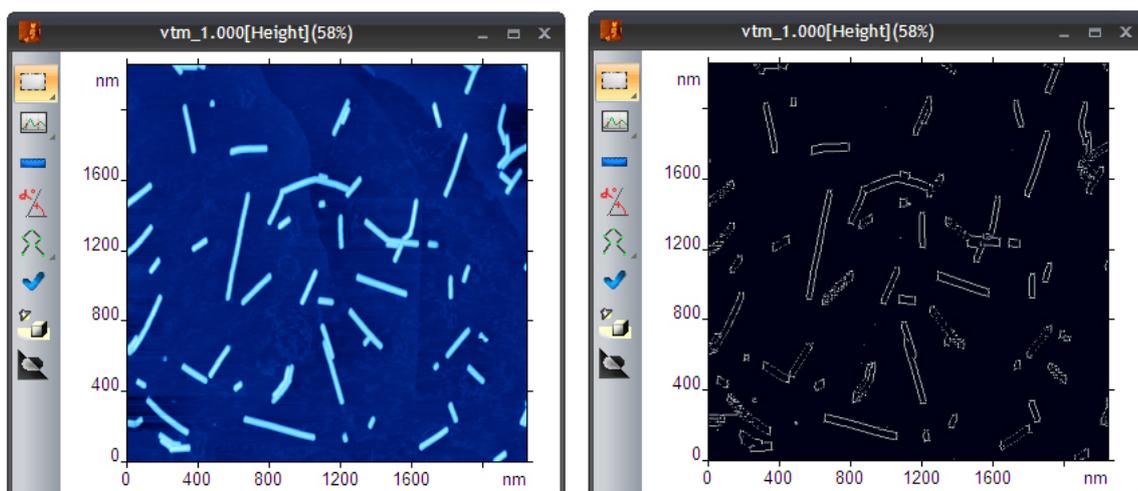


Рис. 3.44. Выделение границ (слева — до выполнения, справа — после выполнения).

При вызове функции появляется окно параметров, в котором необходимо настроить величину порогового значения и уровень шума в долях от 1.

3.8.27 Линейные фильтры

В программе ФемтоСкан Онлайн реализованы три фильтра из класса линейных: градиентный, фильтр Лапласа и фильтр Гаусса.

Градиент

В общем виде производная по оси x (оси y) для дискретной функции представима в виде $h_x \otimes S$ ($h_y \otimes S$), где знак \otimes обозначает свертку дискретных функций, h_x и h_y с дифференцируемой функцией S . Модуль градиента находится как корень из суммы квадратов производных по двум перпендикулярным направлениям.

Вызов данной функции осуществляется путем выбора команды меню **Линейные фильтры** **Градиент** или кнопкой . На экране появляется диалоговое окно с двумя параметрами. Параметр **Алгоритм** определяет метод, которым будет вычисляться градиент. В программе доступны три метода вычисления: **Разность**, **Превит** и **Собель**. Они отличаются матрицами h_x и h_y . В таблице 3.3 приведены используемые матрицы. Величину производной в точке определяют высоты соседних точек. В алгоритме **Разность** производная — это разность между соседями слева и справа по строке (или сверху и снизу по столбцу). В алгоритме **Превит** — это треть от суммы таких разностей между соседями в своей строке, на строчку выше и ниже (или же в трех столбцах — своем, столбце слева и столбце справа). Наконец, в алгоритме **Собель** разность между соседями в своей строке (или столбце) берется с вдвое большим весом. Вторым параметром **Как считать** определяет способ вычисления комбинации между величинами, вычисленными по двум осям. Это могут быть: горизонтальная или вертикальная проекция (в этом случае вклад будет вносить только частная производная по соответствующему направлению), проекция на произвольный вектор, либо амплитуда (то есть корень из суммы квадратов).

	h_x	h_y
Разность	$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$
Превит	$\frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$
Собель	$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$	$\frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}$

Таблица 3.3. Матрицы, используемые при вычислении первых производных.

Лаплас

Фильтр Лаплас вычисляет лапласиан следующим образом: $Laplace(S) = h \otimes S$, где

$$h = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Гаусс

Фильтр Гаусса использует для вычисления свертки следующую матрицу:

$$h = \begin{pmatrix} 1/16 & 2/16 & 1/16 \\ 2/16 & 4/16 & 2/16 \\ 1/16 & 2/16 & 1/16 \end{pmatrix}$$

3.8.28 Корреляции между изображениями

Существует несколько способов определения степени соответствия между двумя изображениями. Один из них – построение корреляционной функции $R_{tx}(r, c)$ для изображения и шаблона:

$$R_{tx}(r, c) = \sum_{i=0}^{tpR-1} \sum_{j=0}^{tpC-1} t(i, j) \cdot x\left(i + r - \frac{tpR}{2}, j + c - \frac{tpC}{2}\right),$$

где $x(r, c)$, $t(i, j)$ – значения анализируемых функций, например высоты, в точках (r, c) изображения и (i, j) шаблона, tpR и tpC – ширина и длина шаблона. Чем большее значение принимает корреляционная функция в точке, тем полнее вблизи нее совпадают изображение с шаблоном.

В программе ФемтоСкан Онлайн вычисляется нормализованная корреляционная функция $\rho_{tx}(r, c)$:

$$\rho_{tx}(r, c) = \frac{R_{tx}(r, c)}{\sqrt{R_{xx}(r, c) \cdot R_{tt}\left(\frac{tpR}{2}, \frac{tpC}{2}\right)}},$$

где R_{xx} и R_{tt} являются автокорреляционными функциями изображения и шаблона соответственно:

$$R_{xx}(r, c) = \sum_{i=r-\frac{tpR-1}{2}}^{r+\frac{tpR-1}{2}} \sum_{j=c-\frac{tpC-1}{2}}^{c+\frac{tpC-1}{2}} x^2(i, j),$$

$$R_{tt}\left(\frac{tpR}{2}, \frac{tpC}{2}\right) = \sum_{i=0}^{tpR-1} \sum_{j=0}^{tpC-1} t^2(i, j).$$

При вычислениях корреляционной функции значения x и t в точках, выходящих за пределы изображения и шаблона, приравниваются нулю.

Чтобы сравнить два изображения, выберите команду Корреляция/ Взаимная корреляция, при этом окно одного из изображений должно быть активным. Из предложенного программой списка выберите шаблон (второе изображение). Корреляционная функция будет построена в новом окне, размеры матрицы со значениями функции будут совпадать с размерами матрицы, задающей первое изображение.

Для установления корреляций в пределах одного изображения выберите команду Корреляция/ Автокорреляция. В этом случае шаблон совпадает с изображением.

3.8.29 Определение персистентной длины

Персистентная длина — это статистическая характеристика полимерной молекулы, характеризующая ее жесткость. Это средняя контурная длина между звеньями, направления которых отличаются на 1 радиан. То есть, чем мягче молекула, тем чаще она изгибается и тем меньше персистентная длина.

В программе ФемтоСкан Онлайн реализован статистический метод подсчета персистентной длины по АСМ-изображениям молекул, зафиксированных на подложке. При этом предполагается, что адсорбция молекул на поверхность происходила постепенно, через ряд равновесных состояний.

Выделите кривую на изображении (это может быть сделано любым из двух существующих инструментов см. параграф 3.7.5) и выберите команду Персистентная длина/ Добавить кривую или нажмите на кнопку . После этого на экран будет выведено окно, в котором

необходимо указать адрес файла, в котором будут записаны координаты точек кривой. Указав адрес, нажмите кнопку ОК. Добавляя кривые по одной в этот файл вы сможете собрать большую таблицу данных. Чем больше будет статистика, тем точнее получится результат.

Когда статистика набрана, выберите команду Персистентная длина/ Обработка. После этого на экран будет выведено диалоговое окно. В программе реализованы различные алгоритмы для вычисления персистентной длины. В зависимости от конкретных условий они могут давать немного различающиеся результаты.

Вы можете выбрать один из трех вариантов алгоритма:

- Sushko. В этом алгоритме персистентная длина определяется как величина, обратная к тангенсу угла наклона графика $\langle \Theta^2 \rangle(l)$, где l — контурная длина, а $\langle \Theta^2 \rangle$ — средний квадрат угла между направлениями сегментов цепи, удаленных друг от друга на такое контурное расстояние. Угол направления каждого участка цепи определяется по наклону прямой, проведенной по методу МНК через данную точки кривой и соседние с ней точки. Размер окрестности определяется параметром МНК-окрестность.
- Filonov. В этом алгоритме персистентная длина также определяется как величина, обратная к тангенсу угла наклона графика $\langle \Theta^2 \rangle(l)$, но угол направления участков цепи определяется только соседними пикселями. Таким образом, он может равняться только 0° , 45° или 90° , но благодаря усреднению получаются разнообразные значения $\langle \Theta^2 \rangle$.
- Алгоритм Q реализует подсчет по персистентной одеде. В ней отношение сегмента Куна к персистентной длине равно двум. Сегмент Куна $l_q = \frac{\langle R^2 \rangle}{l}$ — это отношение среднего квадрата расстояния между концами цепи к контурной длине.

Во всех методах для увеличения статистики рекомендуется задать значение параметра Максимальная длина кривой. Он должен значительно превышать ожидаемое значение персистентной длины. Все построенные кривые будут разбиваться на участки такой длины, обчисляющиеся отдельно.

3.9 Анализ данных (Меню Операции)

Команды, собранные в меню Операции, позволяют получать разного рода информацию о поверхности, делать изображения более наглядными. Многие команды доступны на панели инструментов программы.

3.9.1 Дублирование изображений

Изображение поверхности всегда можно продублировать командой Создать копию или нажатием на кнопку , которая находится на панели инструментов. Если на изображении выделена некоторая область, то продублирован будет только этот участок, иначе — все изображение. Если выделение имеет эллиптическую или сложную форму, то продублирован будет участок прямоугольной формы в который вписывается исходное выделение.

3.9.2 Построение 3х-мерных изображений

Программа позволяет строить трехмерные изображения поверхности. Чтобы сделать это, выберите команду Построить 3D в меню Операции или нажмите на кнопку . С получившимся 3х-мерным объектом можно производить множество операций.

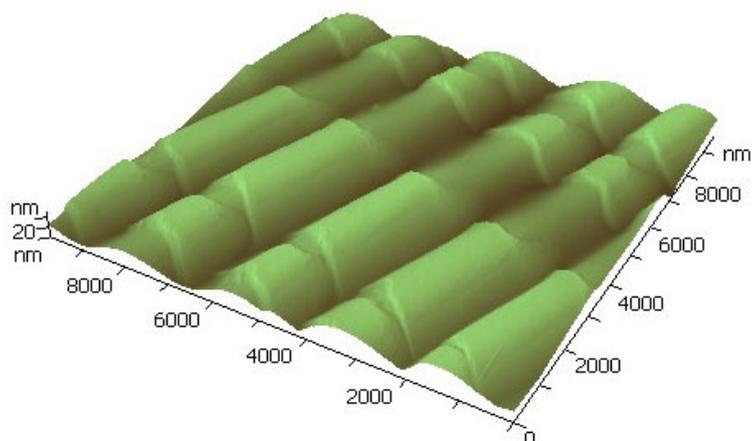


Рис. 3.45. Трехмерное изображение.

- Поверхность можно поворачивать вокруг вертикальной оси. Для этого нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее нажатой, двигайте мышь вправо или влево.
- Для приближения и удаления поверхности нажмите левую кнопку мыши и, удерживая ее, перемещайте мышь вниз или вверх.
- Можно изменить масштаб изображения по вертикали (по оси Z). Для этого, при нажатой кнопке Z, нажмите левую кнопку мыши и, не отпуская ее, двигайте мышь вверх и вниз.
- Поверхность можно поворачивать вокруг горизонтальной оси, лежащей в плоскости экрана (ось Y), и вокруг оси, перпендикулярной плоскости экрана (ось X). Для этого, удерживая нажатыми Ctrl и левую кнопку мыши, двигайте мышь вверх-вниз и влево-вправо соответственно.
- Изображение можно сдвигать мышью при нажатой клавише Shift.
- Если в меню Вид отмечено слово Подсветка, то поверхность оказывается освещенной. При этом есть возможность изменить положение источника света, что может сильно сказаться на наглядности изображения. Удерживая нажатыми Shift, Ctrl и левую кнопку мыши, Вы, двигая мышью, будете перемещать источник света.
- В программе предусмотрена не только возможность управлять положением источника света, но и менять оптические свойства света и самой поверхности. Без использования этой возможности как правило можно обойтись, поэтому ее описание дано в приложении F.
- При нажатии правой кнопкой мыши на окне трехмерного изображения появляется окно настроек. Его можно вызвать также командой Вид Настройки. В нем много закладок, самые основные параметры выведены на закладку Общее. Здесь можно включить и выключить подсветку, отрегулировать светимость материала и расстояние до источника света. Выбрать способ отображения поверхности: в виде цветовой карты или сетки.
- В закладке Доп. Элементы можно выбрать, какие дополнительные текстовые элементы будут показаны на изображении. Это подписи осей, тень под изображением плоскости,

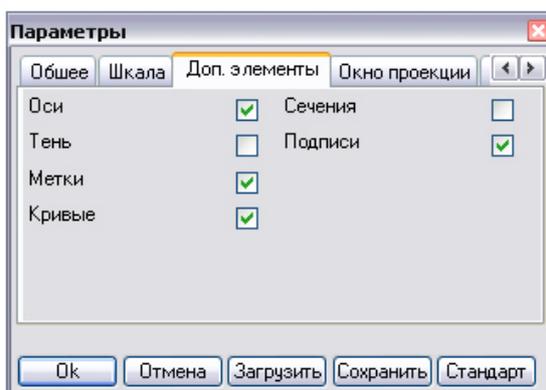


Рис. 3.46. Окно настроек 3D.

метки, кривые и сечения, построенные на исходном плоском изображении. Если Вы хотите, чтобы на трехмерной картинке отображались измеренные длины, углы, номера меток, то необходимо поставить галочку в поле Подписи (рис 3.46). Когда вы на обычном изображении поверхности, для которого было построено трехмерное, построили новые элементы, эти элементы не будут автоматически отображены на трехмерном изображении. Для того чтобы обновить трехмерное изображение, нажмите на него левой кнопкой мыши в течение секунды, а затем отпустите. Обновление можно так же выполнить нажатием кнопки .

- Если Вы не хотите, чтобы на рисунке была нарисована цветовая палитра оси Z, уберите галочку напротив поля Показывать шкалу Z во вкладке Шкала. Там же можно настроить высоту и ширину палитры, ее положение на рисунке (за это отвечают параметры Левая граница,
- Если рельеф 3D поверхности имеет сильные перепады высот, при вращении поверхности могут возникнуть трудности с позиционированием координатных осей, из-за соотношения их размеров с толщиной поверхности. Поэтому во вкладке Легенда окна Настройки (рис 3.47) можно изменить толщину осей для изображения 3D рельефа. Для этого необходимо во вкладке Легенда установить подходящее значение для параметра Толщина осей.
- Во вкладке Оси можно выбрать относительное (левый нижний угол изображения принят за начало системы координат XY, высота отсчитывается от самой нижней точки) или абсолютное (система координат привязана к данным от сканера микроскопа) расположение осей.
- Во вкладке Шрифт можно изменить шрифт подписей по осям.
- Во вкладке Фон — цвет фона.
- Во вкладке Цвет текста настраивается цвет текста на изображении.

Запись пролета над трехмерной поверхностью

Программа позволяет запоминать различные сцены просмотра поверхности и записывать перемещение камеры между сценами. В результате получается красочный фильм, наглядно

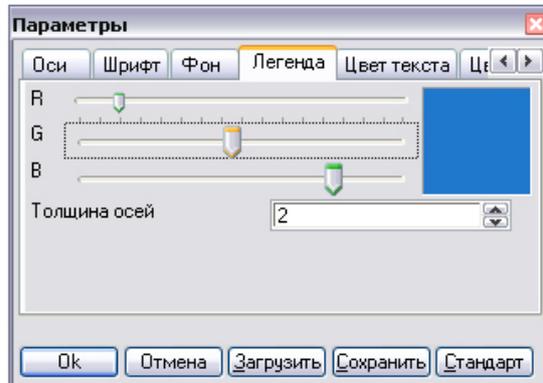


Рис. 3.47. Изменение толщины осей.

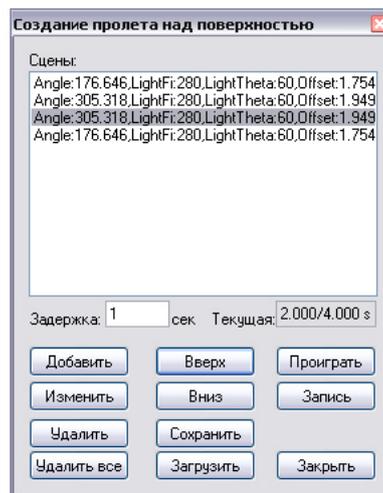


Рис. 3.48. Окно управления сценами.

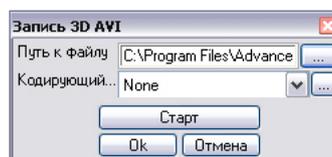


Рис. 3.49. Окно записи видеосюжета.

представляющий форму поверхности. Для создания фильмов используется диалог управления сценами, вызываемый командой меню Вид/Создание пролета над поверхностью (рис. 3.48). Процесс видеосъемки происходит следующим образом:

1. Выбирается желаемый начальный ракурс трехмерного изображения.
2. Выбранный ракурс записывается нажатием на кнопку Добавить. При этом в верхнем поле диалогового окна появится запись, соответствующая координатам этого ракурса.
3. Теперь можно повернуть поверхность, выбирать и запомнить следующее положение. При нажатии на кнопку Добавить ракурс записывается в конец общего списка.
4. Таким образом, постепенно, по точкам, задается весь маршрут камеры.
5. Полученный сценарий можно редактировать. При помощи кнопок Вверх и Вниз выбранный ракурс можно переместить на другое место в последовательности, при помощи кнопки Изменить можно заменить выбранную сцену на текущий ракурс. Удалять лишние сцены можно при помощи кнопок Удалить и Удалить все.
6. Когда последовательность сцен окончательно сформирована, Вы можете запустить режим предварительного просмотра. В нем видео-ролик будет проигран с пониженным разрешением. По умолчанию переход между двумя соседними сценами осуществляется за 1 секунду. Как правило, это слишком быстро. Если Вы хотите, чтобы какой-то из переходов проигрывался с меньшей (или большей) скоростью, выберите сцену, отвечающую за его начало, и в поле Задержка установите такое время, какое хотите.
7. При нажатии на кнопку Запись появляется диалог записи видеосюжета (рис. 3.49), в котором можно задать имя записываемого файла, выбрать способ компрессии и настроить параметры сжатия изображения. При нажатии на кнопку Старт в диалоге записи начнется запись изображения в файл, текущий кадр будет показываться в окне предварительного просмотра. Эта процедура может потребовать некоторое время.
8. Список сцен можно сохранять в текстовый файл и считывать из него. Таким образом, возможно загружать ранее созданные удачные сценарии пролета для новых поверхностей.

3.9.3 Преобразование Фурье

Преобразование Фурье является мощным средством обработки и анализа изображений. Получить представление двумерного изображения в Фурье-пространстве можно с помощью команды Фурье или кнопки . При этом на экран будет выведено окно с изображением Фурье-образа изображения.

При нажатии правой кнопкой мыши на изображении появляется меню. В нем Вы можете выбрать один из двух режимов курсора: Выделение области или Метки. Выделение области позволяет выделить для дальнейшей обработки симметричные относительно начала координат участки. Последовательно выделенные области складываются. Для того, чтобы отменить одно из выделений, наведите курсор на его область (при этом рядом с курсором появится красный крестик) и нажмите левую кнопку мыши. Эта область будет исключена из общего выделения. При помощи курсора Метки можно расставлять отметки на изображении. В подписи к выделенной точке будут указаны два параметра: L — это период в нм, соответствующий выбранной точке, а S — это ненормированная интенсивность спектральной плотности в данной точке Фурье-плоскости. Эти параметры отображаются так же и в статусной строке главного

окна программы при перемещении курсора над Фурье-изображением. В статусной строке Вы можете также увидеть значение периодов по направлению осей X и Y отдельно.

Можно менять контрастность изображения Фурье образа — для этого в меню Фурье выберите один из трех вариантов команды Контрастировать: Больше (увеличение контрастности), Меньше (уменьшение) или Восстановить (восстанавливает исходную установку). Эти три варианта команды можно запустить и через меню, выпадающее по нажатию правой кнопки мыши на Фурье-изображении.

Если Вы выделили некоторую область спектра, то можете обнулить ее внутреннюю или внешнюю часть — для этого есть команды Обнулить внутри и Обнулить снаружи, доступные по нажатию правой кнопки мыши, а также из меню Фурье. Аналогично можно увеличить или уменьшить вклад выбранных частот с помощью команд Увеличить или Уменьшить. При усилении, ослаблении и обнулении выбранных частот изменения в Фурье-спектре сразу же отражаются на изображении поверхности. Ослабление высокочастотной составляющей на изображении приводит к уменьшению уровня шума. Усиления тех или иных частот применяется для того, чтобы подчеркнуть наличие периодической составляющей на изображении (часто используется при обработке изображений с атомарной гофрировкой поверхности).

3.9.4 Построение гистограмм

После выполнения команды Гистограмма или нажатия на кнопку  появляется окно, содержащее распределение точек поверхности по высотам. При перемещении штриховых вертикальных линий, в нижней строчке окна отображаются числовые данные.

- X_0 — это высота поверхности, соответствующая левой отметке на гистограмме.
- X_1 — это высота поверхности, соответствующая правой отметке на гистограмме.
- $X_1 - X_0$ — разность в высотах двух этих точек.
- % — относительная площадь выделенного участка гистограммы в процентах.

По команде меню Гистограмма/ Обрезать высота каждой точки, оказавшейся снаружи от вертикальных линий, становится равной высоте, указанной соответствующей вертикальной линией. Эти изменения сразу же отражаются на изображении поверхности. Гистограмма также строится заново и может иметь совершенно новый вид.

Настроить внешний вид диаграммы можно при помощи диалогового окна параметров. Оно выводится на экран при нажатии правой кнопкой мыши на гистограмме и имеет стандартный вид.

3.9.5 Нахождение объектов

С помощью команды Выделить объекты вызывается функция автоматического распознавания объектов. Рис. 3.50 поясняет, какие элементы рельефа считаются объектами. Вычисляется средний уровень поверхности (Средний уровень), среднее квадратичное отклонение (на рисунке — d) и максимальная высота (Максимальная высота). Затем сравниваются две плоскости — A и B. Плоскость A имеет высоту, среднюю между Средний уровень и Максимальная высота. Плоскость B на 2d выше чем Средний уровень. Плоскость, оказавшаяся ниже, принимается за пороговую. Все части поверхности, которые оказываются выше нее, считаются объектами.

По команде Выделить объекты большая часть изображения оказывается закрашена черным (все, кроме самих объектов), на изображении расставляются метки и возникает два новых

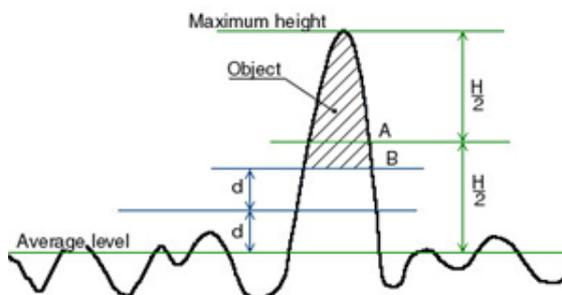


Рис. 3.50. Выделение объектов

окна: таблица с геометрическими характеристиками объектов, и гистограмма, на которой показаны объекты — их площади и количество. Для того, чтобы избавиться от черного фона на изображении нажмите на кнопку  (Обновить) на панели инструментов.

Таблица со свойствами объектов содержит, кроме номера объекта, восемь колонок: Square (площадь объекта в плоскости XY), Perimeter (длина границы объекта в плоскости XY), Volume (объем объекта), RMS (дисперсия высоты объекта). Form Factor 1 — это отношение радиуса окружности эквивалентной площади к радиусу окружности эквивалентного периметра. Для круглого объекта этот Форм-фактор равен единице. Чем сильнее изрезан периметр объекта, тем ближе его значение к нулю. Form Factor 2 — это отношение удвоенной длины скелета объекта к его периметру. Для тонкой нити это отношение равно единице, для окружности оно равно нулю. Еще два параметра — это максимальная высота объекта H , и средняя высота $\langle H \rangle$.

Можно сортировать объекты по любому свойству, нажимая на название колонки. При этом объекты перенумеровываются и метки на изображении обновляются. Гистограмма при этом также будет перерисована под соответствующий параметр.

В таблице можно выделить все объекты или несколько и скопировать их свойства в буфер обмена. Для выделения нескольких объектов нужно нажимать на них мышью, удерживая нажатой клавишу CTRL или SHIFT, а для копирования нажать CTRL+C или выполнить команду Копия текста из меню Правка.

В окне гистограммы можно проводить отбор объектов по площади, перемещая две вертикальные линии. Если в окне Настройки (Рис. 3.50), появляющемся при нажатии на правую кнопку мыши в окне гистограммы, в закладке Общее напротив поля Оставлять внутр... стоит галочка, то на изображении будут отображены только те объекты, которые попали внутрь вертикальных линий; если эту галочку убрать — то только внешние. При этом в окне со списком объектов по-прежнему будут указаны все объекты. Объекты, которые совсем не интересны, можно удалить из списка. Для этого выделите на гистограмме только те объекты, которые хотите оставить, примените команду меню Объекты/ Удалить с гистограммы. Она удаляет неотобранные объекты из гистограммы и списка, оставляя их изображение на поверхности нетронутым. При желании можно воспользоваться командой Объекты/ Удалить с изображения/ Выделенные (объекты удаляются на изображении), а или командой Объекты/ Удалить с изображения/ Остальные (для отфильтрованных на гистограмме объектов). Список объектов в этом случае также будет обновлен. Обе функции доступны в тот момент, когда активным является окно гистограммы.

Существует и более простой метод для удаления объектов из гистограммы и таблицы: наведите курсор на отметку, соответствующую тому объекту, который следует удалить, на

экране обозначится символ удаления метки (🗑️). Нажмите левой кнопкой мыши, и метка будет убрана с изображения. Одновременно будет скорректированы таблица и гистограмма.

В окне настроек гистограммы также можно задавать тип маски в поле Тип маски:

1. None – отменяет маску. На исходном изображении отображаются только метки, указывающие на объект и его номер;
2. Mask – на исходном изображении рисуются только найденные объекты, их номера и метки. Все что ниже порога удаляется, эти области изображения рисуются черным цветом.
3. Contour – изображение не изменяется, но у найденных объектов кроме номеров и меток вычерчивается еще и контур. Цвет контура можно задавать в закладке Цвет контура;
4. Skeleton – изображение не меняется, кроме меток и номеров отмечается каркас найденных объектов.

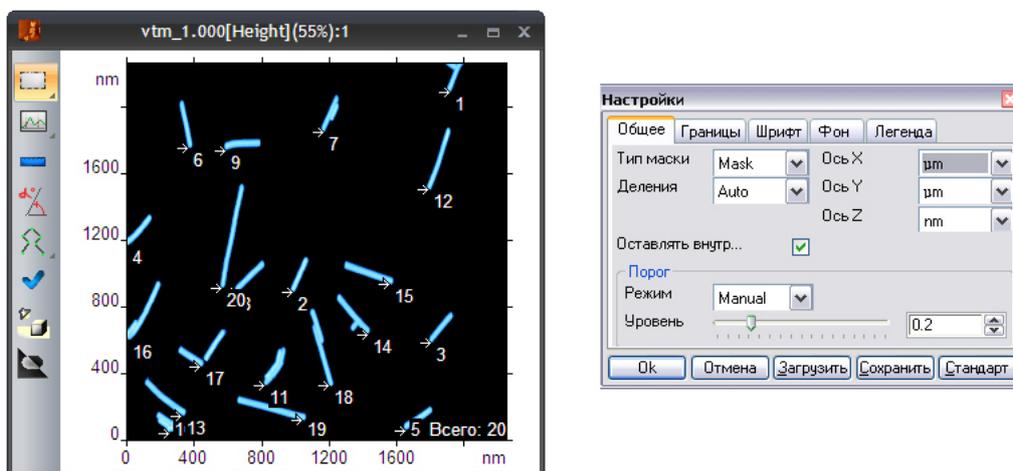


Рис. 3.51. Выделение объектов.

В том же окне Настройки можно выбрать режим пороговой фильтрации в строке Режим:

1. Auto – пороговое значение рассчитывается автоматически;
2. Manual – пороговое значение задается вручную, оно измеряется в долях от максимальной высоты на изображении (от 0 до 1).

Остальные настройки меню Настройки стандартны.

Когда окно гистограммы активно, в главном меню программы появляется раздел для работы с объектами. Часть команд этого меню уже обсуждалась выше. По команде Вычислять среднюю высоту из меню Объекты вычисляется средняя высота объектов. Делается это следующим образом. Находится средняя высота поверхности без учета выбранных объектов. Затем для каждого объекта вычисляется его средняя высота, которая равна средней по строкам максимальной высоте (относительно нового среднего уровня). После этого вычисляется среднее значение между высотами всех объектов. Полученное значение будет выведено в отдельном окошке.

Команда Заполнить внутренние области из меню Объекты предназначена для работы с объектами, имеющими кольцевую форму. По умолчанию их внутренняя часть не учитывается при вычислении площади и т.д. Если Вы хотите учесть эти участки при вычислении площади, воспользуйтесь этой командой.

Чтобы удалить метки по завершению обработки воспользуйтесь командой меню Вид/ Очистить Метки.

3.9.6 Ступенчатая структура поверхности

На поверхности кристаллов можно обнаружить ступеньки. Это связано с ростом кристалла слоями (рис.3.52). Каждый новый слой образует с предыдущим ступеньку. Постепенно слой растет, увеличивая площадь, ступенька передвигается. С помощью команды Найти ступеньки можно описывать рост ступенек во времени. Для использования этой функции нужно взять изображение, полученное в специальном режиме работы микроскопа, когда одна и та же строка сканируется с разверткой по времени. По команде Найти ступеньки открывается диалоговое окно (рис.3.53). Выбираем направление исследования: слева на право – если самая верхняя ступень слева, а нижняя справа, иначе справа налево.

Ступеньки находятся по скачкам производной. Для ее вычисления происходит свертка с ядром $(1,0,-1)$ или $(-1,0,1)$, т.е. строка значений умножается на вектор $(1,0,-1)$ для направления слева на право, или $(-1,0,1)$ – справа налево. Операция осуществляется снизу вверх со строки, которая указывается в пункте „Начало ряда“, до строки – „Конец ряда“. После этого для получившейся производной считаем среднеквадратичное отклонение – RMS (дисперсия высоты объекта) и проводим пороговую фильтрацию $th = RMS \otimes x(\text{порог})$, где x задается в поле Порог. То, что ниже порога мы не учитываем, а среди значений превышающих пороговое ищем локальные максимумы, присваивая 1 – если есть максимум, 0 – если его нет. Ширина окна для определения локальных максимумов задается в строке „Наклон“. Такую операцию делаем с несколькими первыми строками, количество которых задается в строке „Начальные строки“. Суммируем результат.

Для полученного ряда опять ищем локальные максимумы. В окрестности этих максимумов в первоначальных данных ищем максимум и это считается началом ступеньки. Поднимаемся на строку вверх и на ней ищем максимум в окрестности каждого максимума прошлой строки. Если максимума нет, то строка пропускается. Количество пропущенных строк для каждой ступени не должно превышать число, задаваемое в строке „Максимальный интервал“, иначе эта ступень обрывается. Если максимум для данной ступени в течении максимального интервала появился, то он соединяется прямой линией с предыдущим.

Когда все настройки готовы, нажимаем кнопку ОК. Для каждой ступеньки строится координатная функция – зависимость координаты ступеньки по X от времени по Y (рис. 3.54). Когда мы начинаем передвигать вертикальную прямую на одном из графиков, мы получаем новый график горизонтального сечения поверхности (рис. 3.55). С помощью команды Выравнивание в меню Кривая можно выровнять изображение текущего горизонтального сечения.

Для координатной функции можно сделать авто-корреляцию командой Авто-корреляция в меню Кривая (рис. 3.56). А с помощью команды Структурная функция в меню Кривая получим структурную функцию (рис. 3.57), вычисляющуюся по следующей формуле:

$$S(\Delta t) = \langle [x(t) - x(t + \Delta t)]^2 \rangle. \quad (3.1)$$

Легко увидеть, что корреляционная и структурная функции симметричны (рис. 3.56 и рис. 3.57).

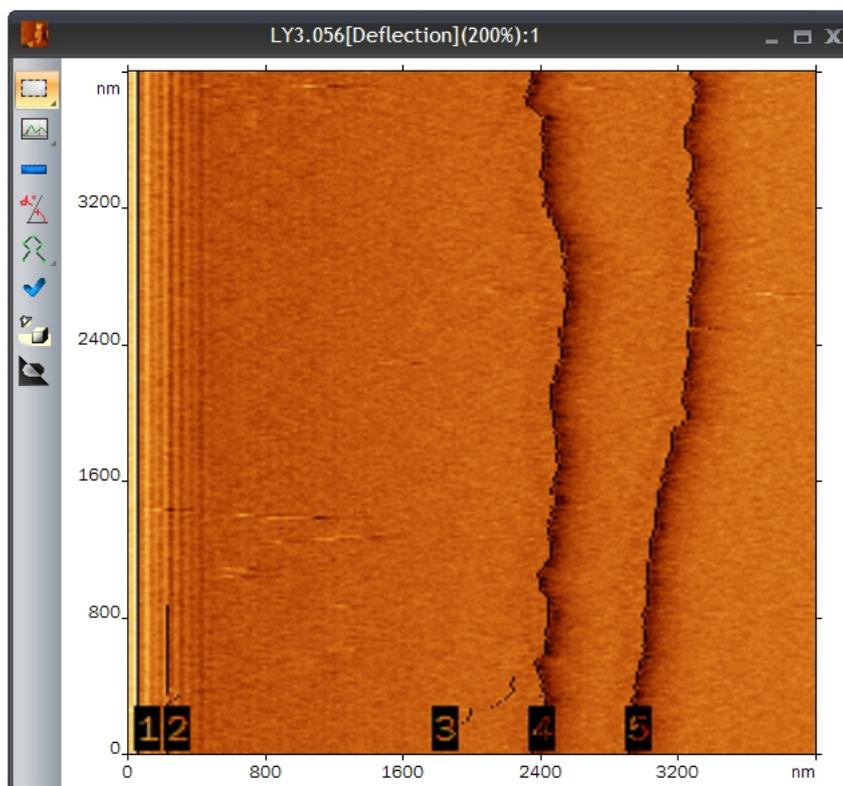


Рис. 3.52. Все ступеньки пронумерованы.



Рис. 3.53. Окно параметров расчета.

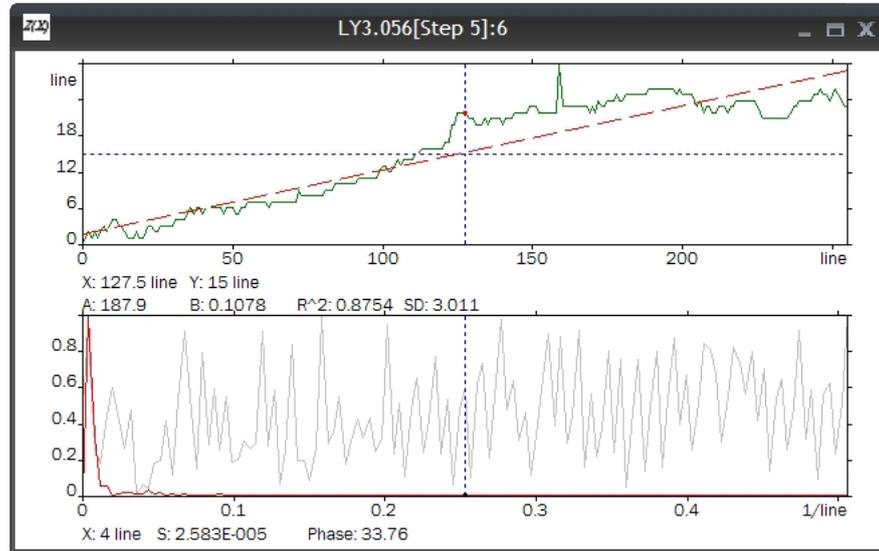


Рис. 3.54. Зависимость координаты ступеньки от времени для 5 ступеньки.

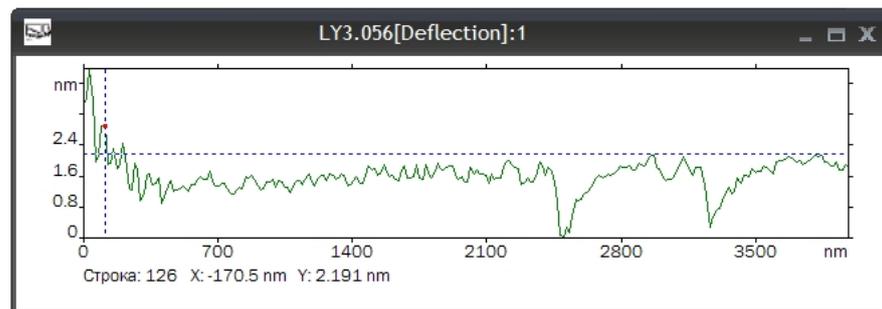


Рис. 3.55. горизонтальное сечение поверхности.

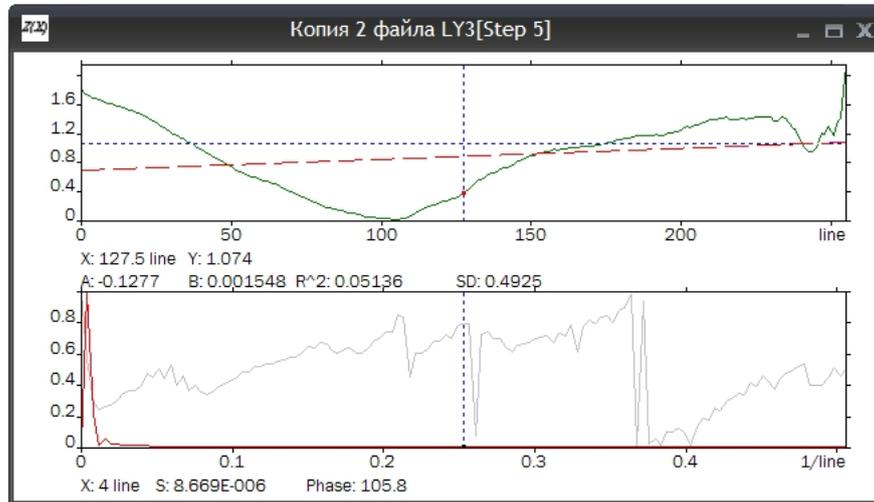


Рис. 3.56. Корреляционная функция.

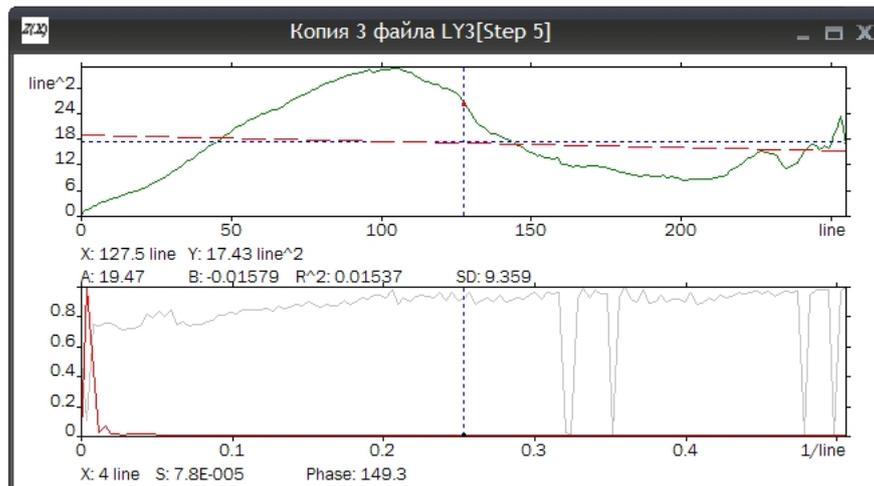


Рис. 3.57. Структурная функция.

3.9.7 Преобразование кривых в сечения

Вы можете построить сечение поверхности по ломаной линии. Для этого надо в режиме построения кривых отметить на поверхности кривую (раздел 3.7.5), а затем выполнить команду Преобразовать кривую в сечение. Сечение будет выведено в новом окне.

3.9.8 Создание файла калибровки гистерезиса

Создание файла калибровки сводится к следующим действиям пользователя:

- На изображении калибровочного образца последовательно с помощью ломаной отметьте узловые точки расстояние между которыми известно (рис. 3.58)

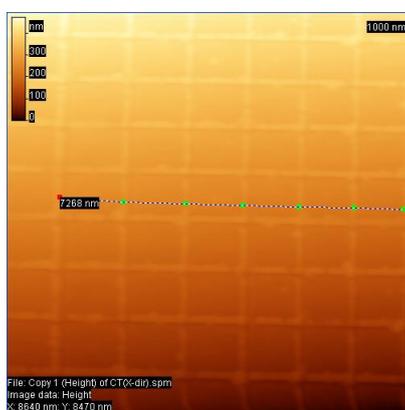


Рис. 3.58. Изображение калибровочной решетки с отмеченными точками.

- Выберите команду Операции/ Создать калибровочную кривую, появится окно с двумя колонками (рис. 3.59)

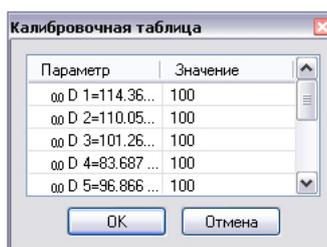
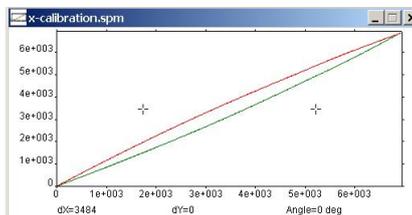


Рис. 3.59. Таблица для определения точек, необходимых для построения калибровочных графиков.

В левой колонке обозначены параметры (номера и измеренные длины промежутков), в правой те значения, которые нужно установить. Отредактируйте правую колонку, впишите известные длины расстояний между точками (к примеру период калибровочной решетки).

- Если Вы хотите отменить изменения, нажмите на кнопку Отмена. Для сохранения файла нажмите ОК. По предложению программы сохраните файл калибровки в нужное место на диске.

- После этого программа строит две калибровочные кривые **x-калибровка** и **у-калибровка-медленно** (для осей x и y соответственно) и выводит их на экран в отдельном окне (рис. 3.60):

Рис. 3.60. Калибровочный график **x-calibration**.

По оси абсцисс на графике откладываются проекции на ось X (или Y) точек ломаной отмеченной на полученном изображении, по оси ординат - истинные значения тех же точек. Строится график, отмеченный зеленой линией, а красная кривая получается его зеркальным отображением относительно прямой, являющейся биссектрисой угла, образованного осями координатной сетки, эта кривая используется для корректировки напряжения, управляющего пьезокерамическим манипулятором.

Есть одно замечание: если проекции точек построенной ломаной на ось Y (или X) малы, что может произойти, к примеру, в том случае, если ломаная почти параллельна одной оси проецирования (достигается высокая точность) и перпендикулярна второй оси (возникает большая ошибка). В этом случае необходимо построить две кривые для быстрого и медленного направления сканирования (**x-калибровка** и **у-калибровка-медленно**), для этого отмечаем на полученном изображении две кривые, так чтобы получились "хорошие" проекции как на одну, так и на другую ось (см. рис. 3.61). Для того чтобы начать строить вторую кривую без привязки к первой необходимо, нажимая клавишу **CTRL**, отметить первую точку новой линии.

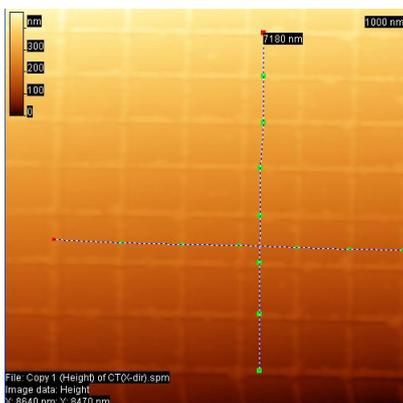


Рис. 3.61. Построение двух ломаных на одном изображении.

Программа автоматически сохранит данные для преимущественного направления. Для определения, сохранять данные или нет для конкретного направления, вычисляется проекция кривой на это направление, и если она в 3 раза меньше проекции на другое направление, то данные не сохраняются.

Полученный калибровочный файл можно использовать для исправления изображения только в одном направлении сканирования (описанный случай для X -направления). Для того

чтобы получить калибровку гистерезиса в обоих направлениях сканирования, необходимо произвести все те же операции с изображением тестового образца, отсканированного с Y-направлением. Можно сохранять данные в файл с другим именем, и после этого объединить полученные файлы калибровки в один, а можно сразу сохранять данные в тот же файл - они запишутся в секции x-калибровка-медленно и y-калибровка.

3.9.9 Изменение разрешения

При выполнении команды Изменить размер появляется диалоговое окно, показанное на рис. 3.62. В этом окне каждому параметру соответствуют два значения в колонках Сейчас и Изменить на. Поля в колонке Сейчас недоступны для редактирования и показывают значения, которые установлены на данный момент. В полях колонки Изменить на нужно установить желаемые значения параметров.

Если Вы хотите изменить коэффициенты пересчета целочисленных данных в информацию о высоте по оси Z, поставьте галочку у Шкала Z или Сдвиг по Z. О том, как хранятся данные в формате ФемтоСкан Онлайн написано в разделе 3.3.12. В поле На 1 бит указывается, какая высота приходится на один бит из двух байт, отведенных на хранение значения по высоте. Отличие поля на 1 бит окна Изменить размер от поля На 1 бит окна Разрешение (раздел 3.3.12) состоит в том, что в первом случае по значению в поле будут изменены целые двухбайтовые числа внутреннего представления данных, а во втором случае — коэффициент перевода этих целых чисел в значения по высоте. В поле RMS указывается дисперсия высоты поверхности в битах. Поскольку эти две величины связаны, изменения второго параметра будут произведены автоматически.

В поле <Z> указывается, на какую высоту во внутреннем представлении данных будет приходиться среднее значение высоты поверхности.

Для изменения количества точек в изображении служат поля Ширина и Высота. Если напротив поля Применить ко всем изображениям документа стоит галочка, то все изображения в файле будут отмасштабированы одинаковым образом.

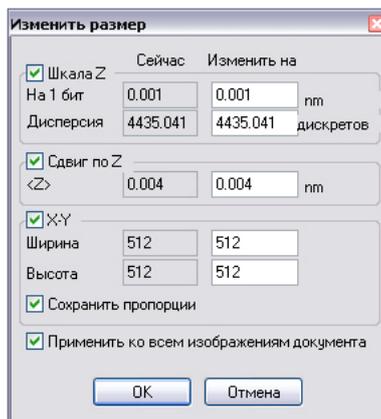


Рис. 3.62. Окно для изменение внутреннего представления данных.

3.9.10 Вычисление площади участка поверхности

Если Вы выделили участок изображения, то с помощью команды Площадь поверхности Вы можете получить площадь соответствующего участка поверхности. Рядом с выделением появляется надпись, где S — указанная площадь, а dS — разность этой площади и площади проекции участка на плоскость XU .

3.10 Работа с кривыми

В программе ФемтоСкан Онлайн предусмотрена возможность работы с обычными и параметрическими кривыми. Когда активное окно — это окно с данными сечения или силовой кривой появляется меню Кривая. С помощью команд этого меню можно проводить обработку и анализ данных кривой.

3.10.1 Дифференцирование

Команда Дифференцировать выполняет дифференцирование данных путем свертки с ядром $\{-0.5, 0.5\}$. Результатом является новая кривая. Для кривых, открытых из файла, результат операции выводится в том же окне. Для сечений данные первоначального изображения (поверхности) не меняются и результат выводится в новом окне.

3.10.2 Корреляция

Корреляционная функция вычисляется по формуле:

$$A(\Delta t) = \langle x(t) \cdot x(t + \Delta t) \rangle. \quad (3.2)$$

В меню Кривая/Авто-корреляция корреляция выполняется, при выборе одного из пунктов Финитная или Циклическая, где:

1. Финитная — означает, что когда происходит наложении двух изображений, все что не входит в пересечение этих изображений заполняется нулями.
2. Циклическая — означает, что при наложении двух изображений заполнение областей не входящих в пересечение происходит циклически.

Подробнее об использовании корреляционной функции можно прочитать в разделе [3.9.6](#).

3.10.3 Структурная функция

Команда Структурная функция предназначена для вычисления структурной функции:

$$S(\Delta t) = \langle [x(t) - x(t + \Delta t)]^2 \rangle. \quad (3.3)$$

При вызове функции может быть выбран один из двух способов расчета — Финитная или Циклическая, где:

1. Финитная — означает, что когда происходит наложении двух изображений, все что не входит в пересечение этих изображений заполняется нулями.
2. Циклическая — означает, что при наложении двух изображений заполнение областей не входящих в пересечение происходит циклически.

Подробнее об использовании структурной функции можно прочитать в разделе [3.9.6](#).

3.10.4 Построение гистограммы

По команде Гистограмма строится распределение данных по вертикальной оси. Эта команда доступна только для силовых кривых, ее нельзя вызвать для сечений.

3.10.5 Копирование кривой

Кривая всегда может быть скопирована командой Копировать или нажатием на кнопку , которая находится на панели инструментов. Если на кривой выделена некоторая область, то продублирован будет именно этот участок, иначе — вся кривая.

Эта команда полезна для того, чтобы запомнить текущее сечение — при смещении точек сечения на изображении поверхности, копия не будет меняться.

3.10.6 Построение параметрической кривой

По двум существующим не параметрическим кривым $Y_1(X)$ и $Y_2(X)$ может быть построена одна параметрическая $Y_2(Y_1)$. Для этого при активном окне кривой $Y_2(X)$ необходимо выбрать команду Кривая/ Выбрать кривую для $X...$ На экран будет выведено диалоговое окно со списком открытых на данный момент кривых. Выберите в этом окне кривую, которая будет выступать в качестве параметра при построении параметрической кривой, и нажмите кнопку Выбрать. После этого параметрическая кривая будет построена в новом окне.

Данная функция может пригодиться, например, если открыты два окна — с данными Отклонение от времени, и данными Z -сенсора от времени. Если выбрать данные Z -сенсор в качестве оси X для данных отклонения, то будет построена зависимость Отклонения от координаты Z .

3.10.7 Обрезание кривой

Если на кривой выделена некоторая область, то с помощью команды Обрезать или кнопки  изображение может быть обрезано по границам выделенной области.

3.10.8 Усреднение

Команда Усреднение выполняет усреднение данных окном шириной в 3 точки. Для кривых, открытых из файла, операция производится над данными файла. Для сечений данные первоначального изображения (поверхности) не меняются и результат выводится в новом окне.

3.10.9 Инвертирование

С помощью команды Инвертировать (кнопка ) можно зеркально отобразить кривую относительно горизонтальной оси (см. рис. 3.63).

3.10.10 Увеличение резкости

Увеличение резкости осуществляется командой Увеличить резкость или с помощью кнопки . При увеличении резкости выделяются незаметные детали. В ядре резкости центральный коэффициент больше 1, а окружен он отрицательными числами. Таким образом увеличивается любой существующий контраст между соседними точками кривой. При обработке каждого пиксела в изображении используется ядро резкости размером 3. Конечное изображение более четкое чем оригинал. Процесс увеличения резкости повышает существующий контраст между

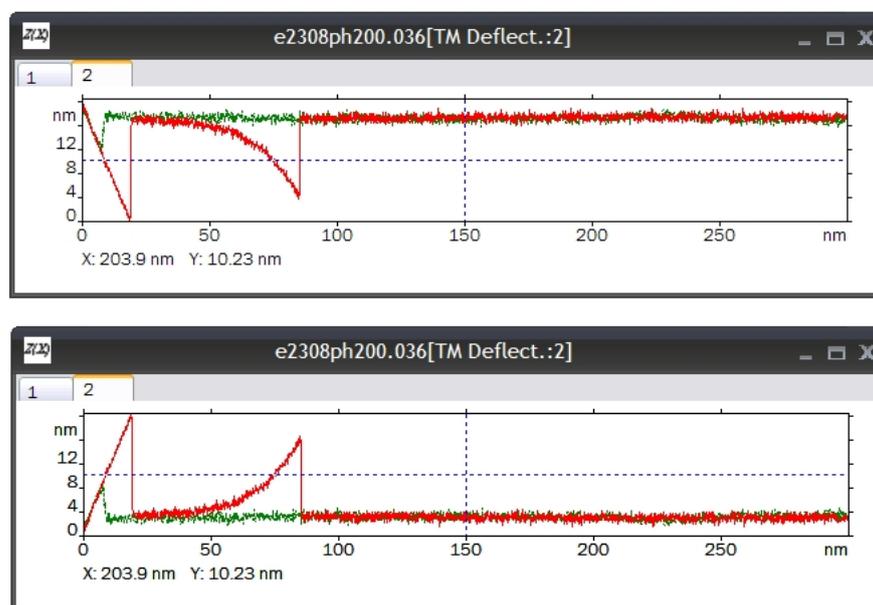


Рис. 3.63. Кривая до (слева) и после (справа) инвертирования.

пикселями. При повторной обработке изображения четкость может увеличиться еще больше. В данной функции используется следующий вектор размерности 3:

$$V = \begin{pmatrix} -1/2 & 4/2 & -1/2 \end{pmatrix}$$

3.10.11 Медианная фильтрация

Эта операция выполняется командой Медианный фильтр или с помощью кнопки . В качестве маски может выступать вектор произвольной длины (3, 5, 7 и т.д.).

3.10.12 Оптимизация шкалы

Функция Оптимизировать шкалу (кнопка ) используется для масштабирования значений кривой по вертикали во избежание ошибок округления и переполнения при дальнейшей обработке. После применения этой функции минимальное значение точек кривой становится равно -16384, максимальное +16383. Коэффициенты для преобразования целых значений в реальные величины уточняются соответствующим образом.

3.10.13 Выравнивание

Возможно вычитание двух типов кривой — прямой или кривой второго порядка. Выравнивание осуществляется по команде Выравнивание в меню Кривая или при нажатии на кнопку , которая находится на панели инструментов.

При выполнении этой команды появляется окно параметров (рис. 3.64), в котором можно указать тип вычитаемой кривой: Линейная — для кривой первого порядка (прямой) или

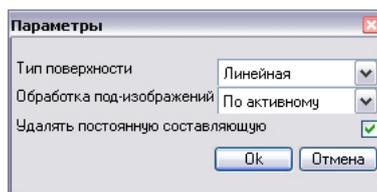


Рис. 3.64. Окно параметров.

Параболическая – для кривой второго порядка. Так же возможно выбрать обработку подизображений:

1. Раздельно — для каждой кривой, содержащейся в файле, отдельно высчитывается вычитаемая кривая методом наименьших квадратов;
2. По активному — вычитаемая кривая рассчитывается для активного подизображения, а вычитается из всех;
3. По всем — рассчитываются кривые для всем подизображений и усредняются.

Если напротив "Удалять постоянную составляющую" стоит галочка то убирается нулевое смещение.

3.10.14 Сплайн

Программа ФемтоСкан Онлайн может строить билинейные кубические сплайны для кривых и производить вычитание сплайнов из кривых. Чтобы вычесть сплайн из кривой или ее части, выберите команду Выравнивание сплайном.

Для построения сплайна кривая разбивается на отрезки, длины которых указываются в диалоговом окне, появляющемся при вызове команды. Для каждого отрезка ищется среднее значение высоты на кривой и сплайн строится по центральным точкам отрезков, где значениями по оси Z считаются вычисленные средние высоты.

В диалоговом окне также можно выбрать область, по которой будет вычисляться сплайн. Для поля Обработка под-изображений может быть выбрано значение:

1. Раздельно — в этом случае для каждой кривой в отдельности высчитывается усредненная кривая методом наименьших квадратов;
2. По активному — в этом случае расчет усредненной кривой ведется для активного подизображения, а вычитается из всех.

3.10.15 Анализ шероховатости

Команда Анализ шероховатости рассчитывает параметры шероховатости поверхности, описанные в приложении G.

3.10.16 Пороговая фильтрация

С помощью команды Пороговая фильтрация вызывается окошко, показанное на рис. 3.65. В этом окошке Вы можете задать пороговый уровень (в долях от максимальной высоты на кривой), и преобразовать части кривой, оказавшиеся выше и/или ниже него. Если напротив

поля Установить выше стоит галочка, то значению высоты во всех точках, где оно превышало значение порогового уровня, будет присвоено значение, равное максимальной высоте на поверхности, либо высоте порогового уровня, в зависимости от выбранного. Аналогично, если галочка стоит напротив поля Установить ниже.

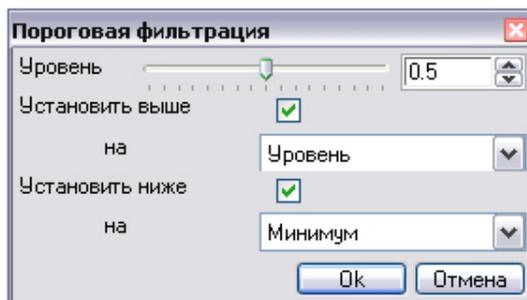


Рис. 3.65. Окно выбора порогового уровня.

3.10.17 Анализ силовой кривой

Программа ФемтоСкан Онлайн обладает рядом функций для работы с силовыми кривыми и их анализа в рамках персистентной модели полимерной цепи, предоставляя возможности обработки как единичных кривых, так и массива кривых одновременно.

Модуль по обработке силовых кривых включает в себя три функции:

- Нормализовать силовую кривую (Normalize force curve) - для нормализации силовых кривых и приведения всех кривых к удобному виду для дальнейшей обработки
- Кривая разделения (Separation Curve) - для преобразования исходной кривой в кривую, построенную в виде зависимости силы от расстояния между кантилевером и образцом
- WLC анализ (WLC Analysis) - непосредственный анализ и получение параметров кривой в приближении персистентной модели полимерной цепи

Нормализация силовой кривой

Для дальнейшей работы необходимо, чтобы кривая имела определенный вид: область контакта должна находиться слева, линии нулевого уровня для всех кривых должны совпадать, быть строго горизонтальными и проходить через ноль оси F, участки, соответствующие контакту кантилевера с поверхностью, также должны совпадать для кривой подвода и отвода (в случае открытия нескольких файлов - для всех кривых). Для преобразования кривой к такому виду используется функция *Нормализовать силовую кривую* из меню Curve (кнопка .

Кривые, не имеющие вышеописанного вида, могут переворачиваться автоматически (значение *Авто* для параметра *Переворачивать*) или же выбор переворачивать кривые или нет можно проводить вручную: переворачивать все кривые (значение *Да*) или не переворачивать ни одной (значение *Нет*). При выборе параметра *Выровнять ноль по выделенному* происходит выравнивание нулевого уровня путем вычета прямой, аппроксимирующей участок, выбранный с помощью меток, для каждого подизображения. Если выбран параметр *Совместить участки наклона*, то автоматически соединяются участки наклона в начале каждого подизображения.

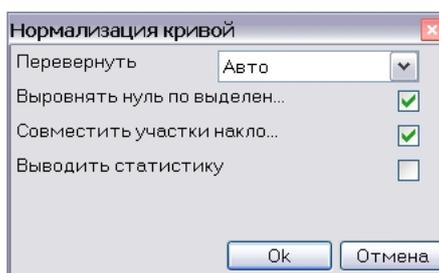


Рис. 3.66. Функция нормализации силовой кривой.

Если требуется рассчитать такие параметры кривой, как наклон прямолинейного участка, соответствующего контакту dF/dZ и Ang , уравнение прямой, соответствующей свободному положению кантилевера, среднее квадратичное отклонение данных от этой прямой, то необходимо выбрать параметр *Статистика*. Выбор подизображений для анализа задается опционально, расчет может проводиться для выделенной области, либо же для кривых подвода или отвода в целом, в этом случае находится статистика наклонного и нулевого участков.

Если расчет статистики производится по для выбранной области, то для каждой кривой выбранный участок аппроксимируется по МНК и находятся соответствующие коэффициенты.

Расчет для кривых в целом реализован следующим образом.

1. Построение сглаженной кривой по исходным данным. В зависимости от количества точек, выбирается один из трех вариантов:
 - $N \leq 64$ - усреднение бегущим окном шириной 3 точки
 - $N \leq 256$ - усреднение бегущим окном шириной 5 точек
 - $N > 256$ - построение билинейного сплайна по 64 точкам
2. Вычисление первой производной.
3. Фильтрация первой производной медианным фильтром шириной 3 точки.
4. Вычисление среднее квадратичного отклонения первой производной RMS .
5. Поиск наклонного участка. Ищется первый слева ненулевой участок, на котором значение первой производной меньше значения $(-RMS)$. На этом участке методом наименьших квадратов по исходным данным строится прямая наклона.
6. Поиск плато. Ищется первый справа участок длиной более $1/5$ общей длины кривой, на котором модуль первой производной меньше значения RMS . На этом участке методом наименьших квадратов по исходным данным строится прямая плато.
7. Вычисление наклона силовой кривой. За наклон принимается угол между прямой плато и прямой наклона. Если прямая плато не была найдена, за наклон принимается угол наклона прямой наклона.

Вычисленные прямые отображаются на кривой синим цветом.

Кривая разделения

Функция *Кривая/Кривая разделения* предназначена для построения кривой разделения (кнопка ) . Вычисление коэффициентов наклонной прямой, соответствующей области контакта кантилевера и поверхности, реализовано двумя способами - путем расчета по МНК, либо по калибровочным данным микроскопа. Первый метод стоит применять лишь в том случае, если информация о калибровке отсутствует (это имеет место, если в возможных осях для силы отсутствуют нанометры). Расчет по МНК производится с учетом шума, задаваемого как параметр (*Уровень шума*).

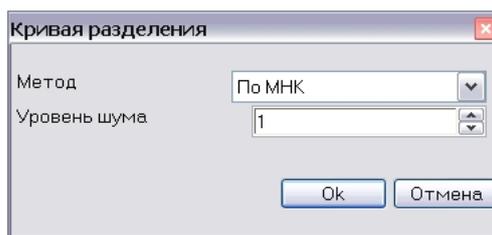


Рис. 3.67. Построение кривой разделения.

WLC анализ

Анализ производится в два этапа - поиск локальных минимумов и получение параметров из персистентной модели. При вызове команды появляется меню с параметрами (рис. 3.68) Для начала необходимо выбрать кривые, на которых будет производиться анализ, если поле *Выбрать подизображения* не установлено, то анализ будет идти по всем нечетным подизображениям (подразумевается, что нечетные подизображения соответствуют кривым отвода), если же требуется производить анализ по четным подизображениям или же для одного, то для параметра *Подизображения* нужно установить значение *Подвод*, если интересует только активное подизображение - значение *Активное*.

Существует два метода поиска локальных минимумов: автоматический (Автопоиск) или полностью ручной (Коррекция вручную). Рекомендуется сначала воспользоваться автопоиском, а затем при необходимости подкорректировать найденные участки вручную.

1. Режим автопоиска.

Поиск локальных минимумов можно проводить на участке, подбираемом автоматически (поле *Выбрать участок вручную* не установлено) с использованием параметра шума *Уровень шума*, или же выбирать его вручную, для этого нужно выбрать нужный участок с помощью меток и нажать *Установить*. Значение, выбранное для параметра *Ширина окна*, отражает точность по отношению к шуму, с которой будут искаться локальные минимумы. На изображении найденные локальные минимумы отображаются синими точками, также рисуются локальные максимумы - зеленые точки. Аппроксимация с помощью WLC модели будет проводиться на участках между максимумами до минимумами.

2. Режим коррекции.

Чтобы подкорректировать участок от максимума до минимума или добавить новый, выберите с помощью меток правильный по Вашему мнению участок и нажмите *Корректировать по меткам*.

Есть возможность статистического анализа найденных локальных минимумов, для этого нужно выбрать параметр *Построить гистограмму*. После этого будет построена гистограмма всех локальных минимумов и выведена таблица с ними (рис. 3.69).

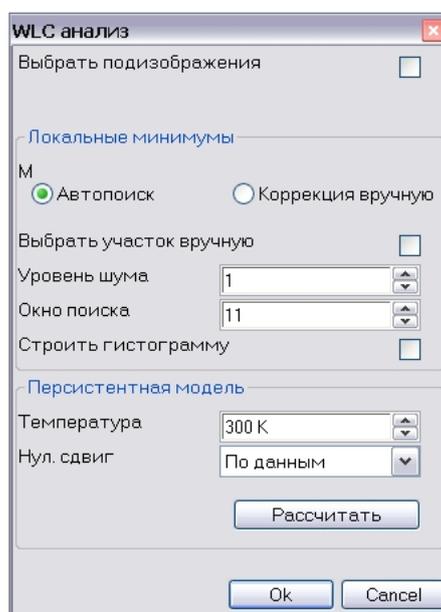


Рис. 3.68. Параметры.

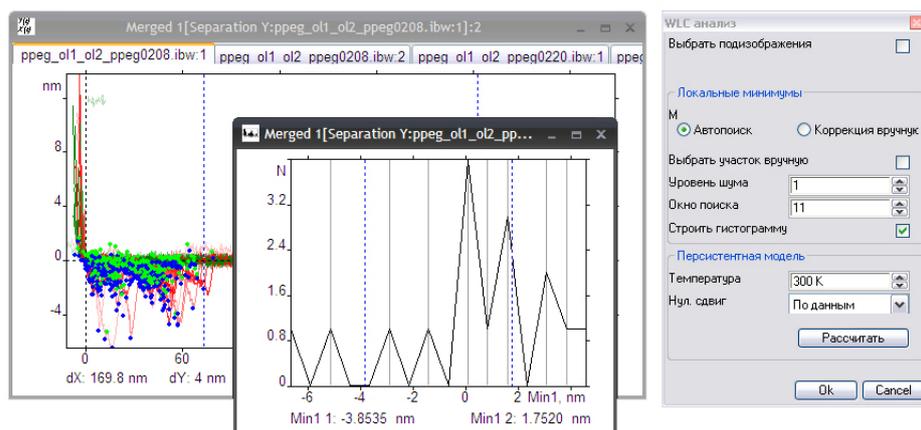


Рис. 3.69. Нахождение локальных минимумов.

В таблице каждая следующая строка соответствует новой кривой. В столбцах находятся координаты найденных минимумов. Гистограмма строится по выбранному столбцу, т.е. лишь для минимумов с определенным номером от начала, по этому же столбцу происходит сортировка таблицы, повторное нажатие меняет сортировку по убыванию на сортировку по возрастанию. Если выбрана строка в таблице, то соответствующее ей подизображение становится активным.

С помощью меток на гистограмме можно выбрать некоторую область, при этом в таблице останутся лишь те кривые, минимумы которых в активном столбце попадают в выбранный интервал. Для работы с гистограммой в меню Items есть несколько специальных функций. Удалить неиспользованные удаляет из изображения те кривые отвода и соответствующие им кривые подвода, на которых не найдено локальных минимумов. Удалить отфильтрованное удаляет кривые, не попавшие в выбранную на гистограмме область, при этом кривые без минимумов не удаляются. Удалить выделенное удаляет кривые, попавшие в выделенную на гистограмме область. Кроме того до начала анализа из массива кривых можно удалять активную кривую и вторую, соответствующей ей, с помощью функции Кривая/Удалить активную кривую.

Когда корректирование найденных локальных минимумов закончено, можно переходить к анализу. На каждом из участков между двумя минимумами поведение кривой может быть описано персистентной моделью с постоянными параметрами. В поле выбора параметров нужно установить температуру и выбрать алгоритм (параметр *Нулевой сдвиг*), по которому будут аппроксимированы все участки растяжения на кривых. Реализовано три варианта: *Нулевой* - с нулевым вертикальным сдвигом; *По данным* - с введением вертикального сдвига для каждого участка (в этом случае величина вертикального сдвига вычисляется как третий вариационный параметр F_0); *Суперпозиция* - с учетом суперпозиции, т.е. анализ участков ведется справа налево, первая (самая правая) кривая обрабатывается непосредственно, для каждой последующей производится вычет "хвостов" всех кривых, лежащих правее данной, вертикальный сдвиг не учитывается. После этого для непосредственного расчета необходимо нажать кнопку *Рассчитать*, тогда будет произведен расчет и результаты будут выведены на экран в виде таблицы (рис. 3.70).

Выводятся следующие величины: Подизображение - номер подизображения, Кривая - номер кривой на данном подизображении, F_{min} - критическая сила, при которой произошел конформационный переход или разрыв, X_{min} - длина, при которой произошел конформационный переход или разрыв, L_p - персистентная длина, L_c - контурная длина, F_0 - величина вертикального сдвига F_0 , использованного как дополнительный параметр, Extension - относительное растяжение, dF/dx - производная от найденной кривой в точке перехода (разрыва).

3.11 Работа с буфером обмена

В меню Правка есть три команды для работы с буфером обмена — это команды Копия, Копия текста и Добавить текст. Команда Копия копирует содержимое активного окна в папку обмена. Команда Копия текста помещает в папку обмена текстовые данные, которые есть в активном окне, удаляя при этом имеющееся содержимое папки. Команда Добавить текст, в отличие от Копия текста, добавляет данные в папку обмена, не удаляя уже имеющиеся там.

3.12 Отмена и восстановление изменений

Когда Вы обрабатываете изображение, программа запоминает сделанные изменения, так что потом их можно отменять командой меню Правка/ Отмена (кнопка ) , а также вос-

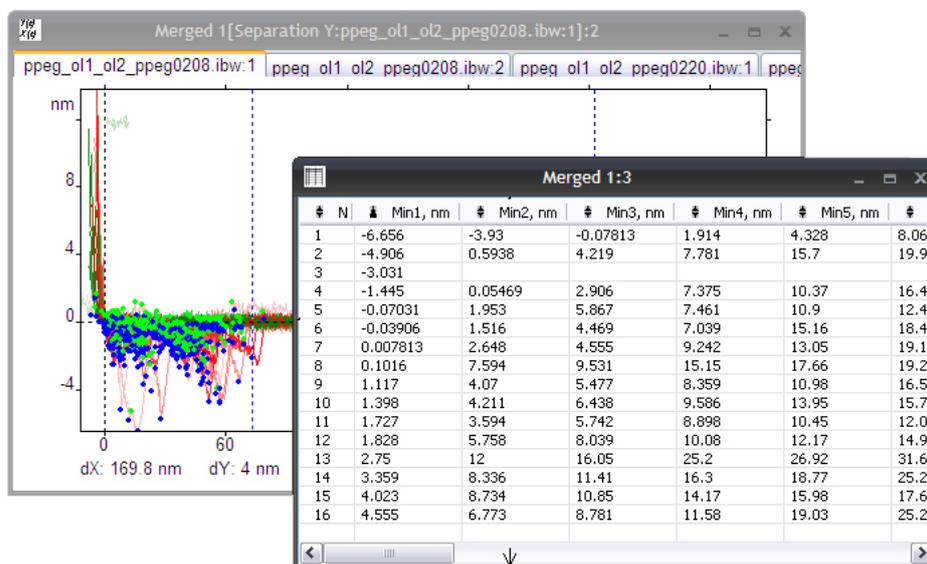


Рис. 3.70. Вывод результатов.

становливать отмененные изменения командой меню Правка/ Повтор (кнопка ). Следует отметить, что программа не запоминает изменений в представлении данных, таких как смена палитры, расстановка меток, рисование сечений, углов, длин и выделений.

3.13 Работа с окнами

3.13.1 Упорядочивание окон

Для упорядочивания окон предназначены команды Каскад и Мозаика из меню Окна. По команде Каскад окна будут расположены одно под другим по диагонали от левого верхнего угла. По команде Мозаика окна располагаются не перекрываясь, следуя друг за другом слева направо и сверху вниз.

Если в рабочей области программы есть свернутые окна, то после команды меню Окна/ Выровнять иконки их заголовки будут расположены вплотную друг за другом слева направо и снизу вверх начиная из левого нижнего угла.

Если вы хотите закрыть все окна (и видимые, и свернутые), выберите команду Закрывать все того же меню.

3.13.2 Смещение окон

С помощью мыши с колесом можно смещать все окна, находящиеся внутри главного окна программы. Для вертикального смещения просто вращайте колесо мыши, а для горизонтального — вращайте колесо, удерживая нажатой клавишу Ctrl.

3.13.3 Выбор изображения

С помощью команды меню Окна/ Окна... Вы можете быстро перейти к нужному изображению. При выполнении этой команды появляется диалог со списком всех открытых окон

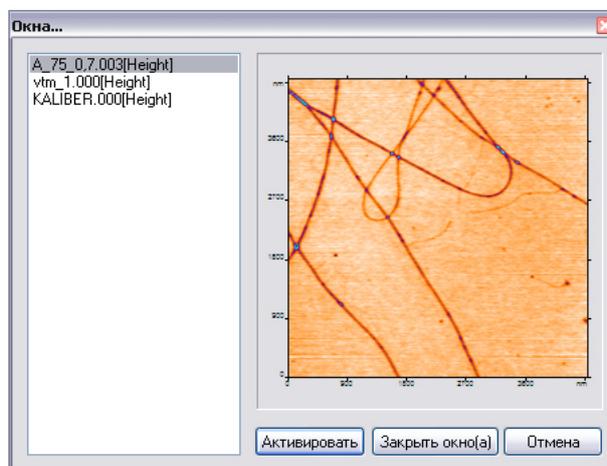


Рис. 3.71. Окно выбора изображения.

(рис. 3.71). Передвигаясь по списку, Вы увидите в правой части диалога уменьшенное изображение выбранного окна. После нажатия кнопки “Активировать” выбранное окно становится активным. Нажав кнопку “Закреть окно”, Вы закроете выбранное изображение.

Выбрать нужное изображение можно и более простым способом. Список открытых изображений есть в нижней части меню Окна, но там прописываются только первые девять из открытых окон.

3.13.4 Изменений размеров окна

Изменить размер окна с изображением можно стандартным образом. При подведении курсора к краю окна, он принимает форму линии с двумя стрелками. При такой форме курсора, если нажать и удерживать левую кнопку мыши, то с движением мыши размер окна будет меняться. При изменении размеров на окне будут показаны две штриховые линии с подписями, показывающими размер окна в пикселах.

3.13.5 Восстановление размеров окна

Если Вы растягивали или сжимали окно, используя стандартные приемы Windows, то восстановить его первоначальные размеры можно командой меню Вид/ Реальный размер или при помощи кнопки

3.13.6 Формат легенды

Внешний вид любого окна в программе (окна изображения, сечения, гистограммы) можно настроить в окне параметров, вызываемых с помощью команды Вид/ Настройки... в то время, как это окно выбрано активным. Рассмотрим подробнее возможности по настройке окон изображения.

Изображение может выводиться в двух режимах - компактном и расширенном (рис. 3.72). Если Вы хотите, чтобы изображение выводилось в компактном виде (без полей, подписей снаружи от осей), то поставьте галочку напротив поля Компактный вид. На изображении поверхности обычно выводится легенда, состоящая из масштабной линии (в компактном режиме) или

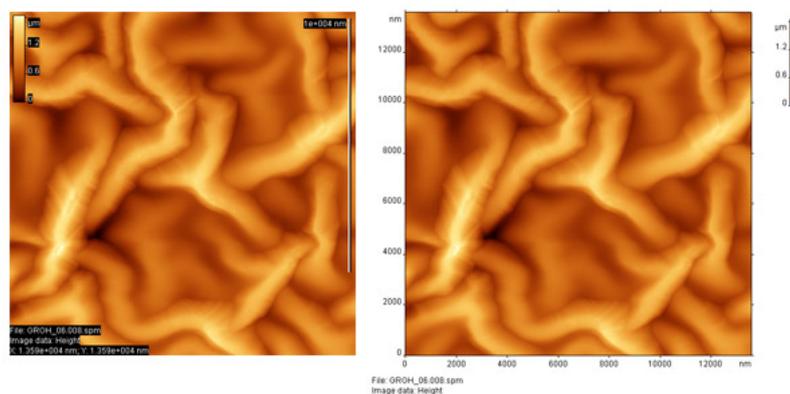


Рис. 3.72. Компактный (слева) и расширенный (справа) форматы легенды.

осей (в расширенном режиме), шкалы соответствия цвета и высоты, и дополнительной информации о файле и данных этого изображения. Вывод вертикальной шкалы можно включить или отключить с помощью поля Показать шкалу Z. Аналогичным образом можно управлять выводом на изображении информации о названии и особенностях файла (поле Файловые данные), параметрах изображения (поле Параметры) и статистических данных по изображению (поле Статистика).

Приложение А

Инсталляция программного обеспечения

Установка программного обеспечения производится путем запуска программы `setup.exe`, находящейся на инсталляционном диске. После запуска установки появится окно выбора языка. Для установки русской версии программы выберите русский язык.

Внимательно прочитайте лицензионное соглашение. Для установки программы необходимо принять его условия.

На странице информации о пользователе введите регистрационное имя и серийный номер, полученные от поставщика. Если имя или номер будут введены неправильно, программа "FemtoScan" при первом запуске попросит ввести верные данные.

В окне выбора вида установки выберите подходящий вариант. Вариант "Обычный" устанавливает клиентскую часть программного обеспечения (программа "ФемтоСкан Онлайн"), руководство пользователя, и файлы примеров. Если нужно установить серверную часть, выберите вариант "Выборочная". Изначально выбраны все компоненты. При желании можно изменить папку, в которую устанавливается программа.

Далее все операции выполняются автоматически. При установке серверной части программного обеспечения, во-первых, на компьютере должна быть установлена операционная система семейства Windows 2000, Windows XP, или Windows 2003 Server, а во-вторых, необходимо войти в систему с правами администратора, иначе будет выдано предупреждение о невозможности установки и будет предложено выбрать другой набор компонентов или прервать инсталляцию. По окончании установки серверных компонент необходимо перезагрузить компьютер, чтобы был запущен драйвер платы DSP. Серверная часть устанавливается только в варианте отдельных блоков преобразователей и управления.

Если программа устанавливается в первый раз, после перезагрузки появится сообщение о том, что найдено новое устройство. Драйвер для этого устройства лежит в той же папке, куда установлена программа. В ответ на запрос системы, укажите путь к драйверу. После установки драйвера в диспетчере устройств можно будет найти в разделе Scanning Probe Microscopes устройство FemtoScan DSP Board.

Приложение В

Конфигурация встроенного сервера ФемтоСкан

Сервер работает на базе операционной системы Windows XP Embedded. В сервере включен Удаленный рабочий стол, через который можно производить детальную настройку и конфигурацию.

Для настройки сервера необходимо знать его IP-адрес в локальной сети. По умолчанию сервер настроен на автоматическое получение IP-адреса. Если в локальной сети есть сервер DHCP и имеется доступ к нему, то нужно посмотреть, какой IP-адрес выдан клиенту с MAC-адресом сервера. MAC-адрес сервера можно узнать в паспорте прибора. Если разрешена автоматическая регистрация DHCP-клиентов в DNS-сервере, то можно вместо IP-адреса использовать имя прибора (записано в паспорте прибора, имеет вид FS<уникальный номер>).

Если DHCP сервера в локальной сети нет, или если он не настроен на автоматическую выдачу адресов новым клиентам, то сервер использует адрес автоконфигурации 192.168.0.100. Для настройки можно использовать ноутбук или компьютер, напрямую подключенный к серверу, со статически установленным IP адресом 192.168.0.1 или любым другим из подсети 192.168.0.*.

Настройку можно выполнять через Удаленный рабочий стол, через telnet-клиент (рекомендуется putty) по порту 25002, или с помощью программы мониторинга и настройки сервера Fmboard.

Рекомендуемый вариант такой:

1. Настроить DHCP сервер на выдачу фиксированного IP адреса по MAC-адресу сервера
2. (Опционально) Разрешить регистрацию клиентов DHCP в DNS-сервере или вручную добавить запись DNS с IP адресом и именем сервера ФемтоСкан (имя в таком случае взять из паспорта прибора)
3. Подключаться к прибору с помощью программы ФемтоСкан Онлайн, используя его IP адрес или имя DNS
4. Административные настройки (изменение профиля, настройка групп и пользователей, установка паролей) производить с помощью программы Fmboard.

В.1 Настройка через Удаленный рабочий стол

Для соединения через Удаленный рабочий стол по адресу 192.168.0.100 использовать

Логин: Administrator

Пароль: FemtoScan123

Удаленный рабочий стол имеет смысл использовать для:

- изменения пароля администратора (через Control Panel)
- настройки Firewall на сервере (через Control Panel)
- прямой загрузки файлов профилей (сделать папку с файлами профиля на локальном компьютере доступной по сети, а в сервере выполнить подключение сетевого диска к этой папке, и скопировать нужные файлы с сетевого диска в C:\Program Files\Advanced Technologies Center\FemtoScan Online VV)
- обновления сервера и драйвера (использовать тот же метод, как и в предыдущем случае)
- настройки видекамеры

Через Удаленный рабочий стол можно остановить/запустить сервис FemtoScan Online Server:

- Выбрать Start -> My Computer, нажать правую кнопку мыши и выбрать Manage.
- В левой части появившегося окна развернуть ветку Services and Applications/Services
- В правой части найти службу FemtoScan Online Server (Рис. В.1)



Рис. В.1. Управление службой сервера через Удаленный рабочий стол.

Сохранение вновь записанных файлов и вообще любые изменения в системе будут отменены после перезагрузки, если не выполнить сохранение настроек. О сохранении настроек смотрите ниже в соответствующем разделе.

В.2 Работа из Fmboard

Для управления сервером с помощью программы Fmboard нужно запустить ее и произвести подключение, выполнив команду "Connect..." из системного меню (выпадает при нажатии на иконку программы в заголовке окна или в трее). В дальнейшем программа будет автоматически подключаться по последнему использованному адресу. Адрес нужно вводить в

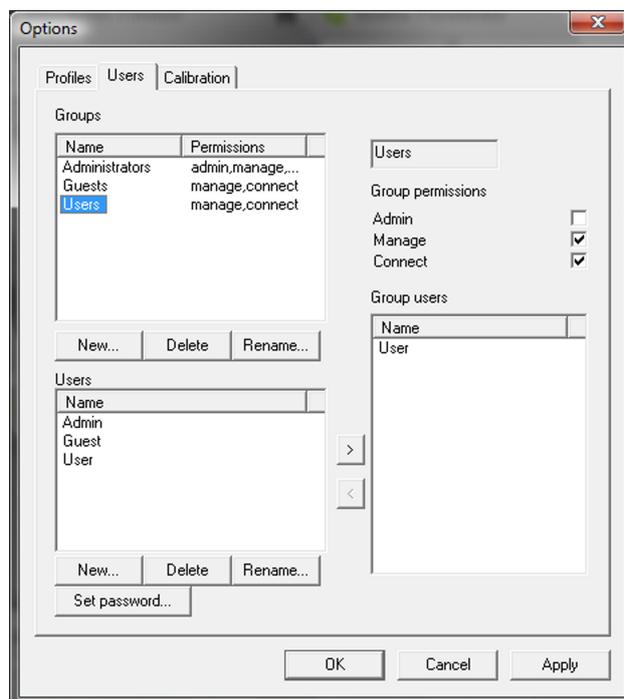


Рис. В.2. Панель управления пользователями.

формате <IP>:<порт>, например 192.168.0.100:25002, или <имя DNS>:<порт>. Порт по умолчанию 25002, его можно не вводить, тогда вводится только имя или IP адрес без двоеточия. Работа с Fmboard не отличается от предыдущих версий, за исключением следующих моментов:

- Панель управления пользователями изменила свой вид (рис. В.2)
- Управление логом событий перенесено на закладку “Calibration”
- Осциллограф отключен

В.3 Работа с панелью администратора в ФемтоСкан Онлайн

Для настройки параметров калибровки в программе ФемтоСкан Онлайн следует воспользоваться командой меню СЗМ/Показать панель администратора

Для того, чтобы панель параметров была доступна в программе ФемтоСкан Онлайн, подключение к серверу должно быть выполнено пользователем, имеющим привилегии администратора. По умолчанию при подключении нужно ввести следующие данные:

Пользователь: Admin

Пароль: отсутствует

Панель программы Fmboard программе FemtoScan Online становится доступной в меню SPM пункт Show Admin Panel. Изменять параметры в панели может только сертифицированный специалист.

Рис. Панель параметров доступна только при входе Администратором.

В.4 Управление через TELNET, PUTTY или консоль Fmboard

При подключении с помощью клиента telnet (например, putty, или встроенный клиент Microsoft) можно управлять сервером, используя текстовые команды. Список команд выводится командой help или ?. Описание конкретной команды выводится командой help <имя команды>, например help list, или ? <имя команды>. Так же эти команды можно вводить на закладке Console в программе Fmboard - в нижней части расположено окно ввода команд, в верхней - окно вывода результата. Описание команд:

- **?**, **help** - без параметров выводит список команд, с параметром - описание заданной команды
- **constant** - узнать/изменить значение константы.
Формат:
`constant <имя константы> [= <значение константы>]`
если значение константы не указано, то будет выведено текущее значение
- **variable** - узнать/изменить значение переменной.
Формат:
`variable <имя переменной> [= <значение переменной>]`
если значение переменной не указано, то будет выведено текущее значение
- **process** - узнать/изменить значение процесса.
Формат:
`process <имя процесса > [= <значение процесса >]` если значение процесса не указано, то будет выведено текущее значение. Значение можно задавать в виде 1/0, true/false - если 1 или true, то процесс запущен, если 0 или false, то процесс остановлен.
- **list** - вывод списков.
Формат:
`list variables [фильтр]` - вывод списка переменных, необязательный фильтр - начало имени переменной
`list constants [фильтр]` - вывод списка констант, необязательный фильтр - начало имени константы
`list processes [фильтр]` - вывод списка процессов, необязательный фильтр - начало имени процесса
`list clients` - вывод списка клиентов. Сначала выводится строка заголовков столбцов, потом - строки с информацией о каждом подключенном клиенте. Выводятся следующие столбцы:
`address` - IP-адрес клиента
`user` - Имя клиента
`master` - Управляет клиент прибором или только наблюдает
`permissions` - разрешения клиента

buffered - объем информации в буфере (в байтах)

idle - сколько секунд клиент бездействует

sent - количество переданной информации

received - количество принятой информации

list profiles - вывод списка профилей в формате <название профиля>=<файл профиля>

list users - вывод списка пользователей в формате <имя пользователя>=<хэш пароля пользователя>

list groups - вывод списка групп в формате <имя группы>=<разрешения группы>, где разрешения группы - набор значений через запятую: admin,manage,connect

list events [фильтр даты] - вывод списка событий. Если фильтр даты отсутствует, выводятся все события. Фильтр даты задается в формате ГГГГ.ММ.ДД ЧЧ:ММ:СС.ммм (год:месяц:день час:минута:секунда.миллисекунда). Можно указывать только первые значения фильтра, т. е. например год, месяц, день и час, а остальные опускать.

list errors [фильтр даты] - вывод списка jib,jr. Если фильтр даты отсутствует, выводятся все jib,jr. Фильтр даты задается в формате ГГГГ.ММ.ДД ЧЧ:ММ:СС.ммм (год:месяц:день час:минута:секунда.миллисекунда). Можно указывать только первые значения фильтра, т. е. например год, месяц, день и час, а остальные опускать.

- **reload** - перезагрузка конфигурации - текущее состояние будет сохранено и загружено заново. У подсоединенных клиентов произойдет обновление конфигурации устройства.
- **download** - загрузка программы платы DSP.
- **disconnect** - отсоединение клиента.
- **send** - отправка сообщения определенному клиенту или всем клиентам
- **move** - перемещение шагового двигателя
- **device** - вывод информации об устройстве/смена устройства.
- **profile** - управление профилями
- **user** - управление пользователями
- **group** - управление группами
- **file** - работа с файлами
- **ewf** - управление фильтром записи на диск
- **system** - перезапуск или выключение прибора
- **quit** - окончание сессии

В.5 Сохранение настроек

Во встроенном сервере весь образ системы хранится на флэш-диске. Флэш-диск имеет ограниченный по сравнению с жестким диском ресурс перезаписи. Чтобы диск не вышел из строя раньше времени, в системе установлен специальный драйвер - расширенный фильтр записи (Enhanced Write Filter, EWF), который эмулирует запись на диск, а на самом деле запись производится в память. Поэтому, чтобы запомнить изменения, произведенные в настройке сервера, нужно выполнить специальную команду, которая разрешает запись изменений на диск. Команду можно выполнить несколькими способами:

В Удаленном рабочем столе запустить командную строку (cmd.exe) и выполнить команду `ewfmgr c: -commit`, после чего штатным образом (через меню Start) перезагрузить сервер.

Через клиент telnet (putty) выполнить команды `ewf commit` и `system reboot`

В Fmboard после изменения параметров программа сама предложит произвести запись данных на диск. Можно так же на закладке консоли выполнить команды `ewf commit` и `system reboot`

Так же флэш-диск накладывает ограничения на работу сервера - при длительной работе системы (несколько дней или недель) может происходить заполнение виртуальной памяти, и тогда система может сама перезагрузиться для очистки памяти. Сохранение измененных параметров сервера при этом не происходит.

Приложение С

Описание калибровочных констант

- Hysteresis — путь к файлу калибровки гистерезиса. Для корректировки нелинейных искажений размеров образца, получающихся вследствие наличия у пьезокерамики гистерезиса, используется калибровочный файл, создаваемый программой "ФемтоСкан Онлайн" введенным пользователем данным (см. 3.9.8). В этом поле указывается путь к файлу.
- Download on startup — значения этого параметра Yes или No определяют, будет ли сервер автоматически загружаться при включении.
- Client Interface — название клиентского интерфейса. У клиента при подсоединении будет загружен интерфейс окна параметров с этим именем и расширением "XML". Текущая версия интерфейса — "fsvarlist.1.4".
- Security — раздел опций шифрования.
 - Encryption - режим установки параметров шифрования – без шифрования (Disable), использовать настройки сервера (Force Server Parameters) или настройки клиента (Accept Client Parameters). В случае, если установлен режим использования параметров сервера, у клиента должен быть установлен аналогичный режим - иначе он не сможет подключиться.
 - Message Digest - режим генерации подписи блока данных.
 - * Cipher - алгоритм шифрования.
 - * Mode - режим шифрования - блоками (ECB), цепочкой (CBC) или с обратной связью (CFB).
 - * Key Length - длина сессионного ключа, сам ключ генерируется автоматически.
 - * Padding - метод дополнения блока данных до кратной длины (нулями или по алгоритму PKCS7).
- DAC Max., V - максимальное выходное напряжение ЦАП. Напряжение варьируется в диапазоне от $-DACMax$ до $DACMax$. Стандартное значение – 3 В.
- ADC Max., V - максимальное входное напряжение АЦП. Напряжение варьируется в диапазоне от $-ADCMaх$ до $ADCMaх$. Стандартное значение – 10 В.
- U_t - параметры генератора опорного напряжения U_t .
 - Max., V - максимальное выходное напряжение генератора опорного напряжения U_t . Стандартное значение – 9 В.

– Bias, mV - смещение нуля генератора опорного напряжения U_t .

- Freq. Max., KHz - максимальная частота генератора частоты. Стандартное значение – 10000 КГц.
- Z Ampl. Max., mV - максимальное напряжение генератора частоты. Стандартное значение – 500 мВ.
- PI Gains Scale - масштабирующий множитель пропорционального и интегрального звеньев. Внутреннее представление позволяет задавать значения звеньев в диапазоне от -2^{15} до $2^{15} - 1$, но работа с такими величинами неудобна для пользователя. Поэтому вводится масштабирующий множитель, и пользователь работает с величиной, равной $Gain * 2^{-PIGainsScale}$. Стандартное значение – 6 (соответствует масштабирующему коэффициенту 1/64).
- Inverse Z - направление поляризации трубки. Принято, что если при подаче положительной разности потенциалов на Z-обкладки пьезоманипулятора он сжимается, то $InverseZ = Yes$, если растягивается, то $InverseZ = No$.
- Precise X,Y DACs - наличие в электронике усилителей X,Y для сканирования с повышенным разрешением.
- Reduced Z DAC - наличие в электронике усилителя Z для сканирования с повышенным разрешением.
- Sensitivity - чувствительность пьезоманипулятора. Значения чувствительности можно менять при проведении калибровки пьезосканера. Например, если установлена чувствительность $X_{Sensitivity} = X_{sens0}$, и период решетки графита при калибровочных измерениях получается равным L_0 , а табличное значение равно L_1 , то правильное значение чувствительности находится по формуле

$$X_{sens1} = \frac{X_{sens0}}{L_0} L_1$$

– X, nm/V - по оси X.

– Y, nm/V - по оси Y.

– Z, nm/V - по оси Z.

Для пьезосканера с диапазонами сканирования по X-Y-Z $10 \times 10 \times 2 \mu\text{m}$ стандартными значениями являются $45 \times 45 \times 7 \text{ nm/V}$.

- Gains - коэффициенты усиления высоковольтных усилителей. Выходное напряжение ЦАП, умноженное на эти коэффициенты, подается на обкладки пьезоманипуляторов.
 - X - коэффициент усиления по оси X. Стандартное значение – 40.
 - X Precise - коэффициент усиления по оси X усилителя с повышенным разрешением. Стандартное значение – 1.25.
 - Y - коэффициент усиления по оси Y. Стандартное значение – 40.
 - Y Precise - коэффициент усиления по оси Y усилителя с повышенным разрешением. Стандартное значение – 1.25.

- Z - коэффициент усиления по оси Z . Стандартное значение – 40.
- Z Reduced - коэффициент усиления по оси Z усилителя с повышенным разрешением. Стандартное значение – 2.5.
- Resistance - параметры усилителя сигнала, снимаемого по каналу Conductivity в резистивном режиме.
 - Rfb, МОм - сопротивление обратной связи операционного усилителя. Стандартное значение – 3 МОм.
 - Mode - режим подачи опорного напряжения U_t – напрямую или через делитель (при подключении через кабель "Резистивный режим").
 - * Ra, КОм - сопротивление плеча делителя a . Стандартное значение – 10 КОм.
 - * Rb, Ом - сопротивление плеча делителя b . Стандартное значение – 10 Ом.
- STM - параметры головки для режима STM.
 - Rfb, МОм - сопротивление обратной связи операционного усилителя в STM-головке (рис. C.1).
 - It Max., нА - ток насыщения, рассчитывается автоматически по напряжению АЦП и сопротивлению обратной связи.
 - Inverse Feedback - режим инверсии обратной связи. Если для коррекции положительного значения ошибки обратной связи требуется увеличение сигнала обратной связи (удаление образца от зонда), то *InverseFeedback* = No, если требуется уменьшение сигнала обратной связи, то *InverseFeedback* = Yes. Стандартное значение – No.
 - Inverse It - режим инверсии значения ошибки обратной связи. Если в цепи сигнала ошибки есть инвертирующий элемент (например, операционный усилитель), то *InverseIt* = Yes, иначе *InverseIt* = No. Стандартное значение – Yes.
 - Feedback Channel - номер канала АЦП 1, на котором регистрируется сигнал ошибки обратной связи. Стандартное значение – 0.
- AFM - параметры головки для режима АСМ.
 - Force Max., нН - максимальная регистрируемая сила взаимодействия зонд-образец. Это значение всегда является приблизительным, реальное значение устанавливается после калибровки головки по кривой подвода-отвода.
 - Inverse Feedback - режим инверсии обратной связи. Стандартное значение – No.
 - Inverse Force - режим инверсии значения ошибки обратной связи. Стандартное значение – No.
 - Feedback Channel - номер канала АЦП 1, на котором регистрируется сигнал ошибки обратной связи. Стандартное значение - 0.
 - Cantilever Rigidity, Н/м - жесткость кантилевера, эту величину можно узнать в спецификации установленного кантилевера. Параметр жесткости используется для преобразования величины отклонения кантилевера dZ в силу взаимодействия dF по формуле $dF = dZ * (CantileverRigidity)$.
- RAFM - параметры головки для резонансного режима АСМ (РАСМ).

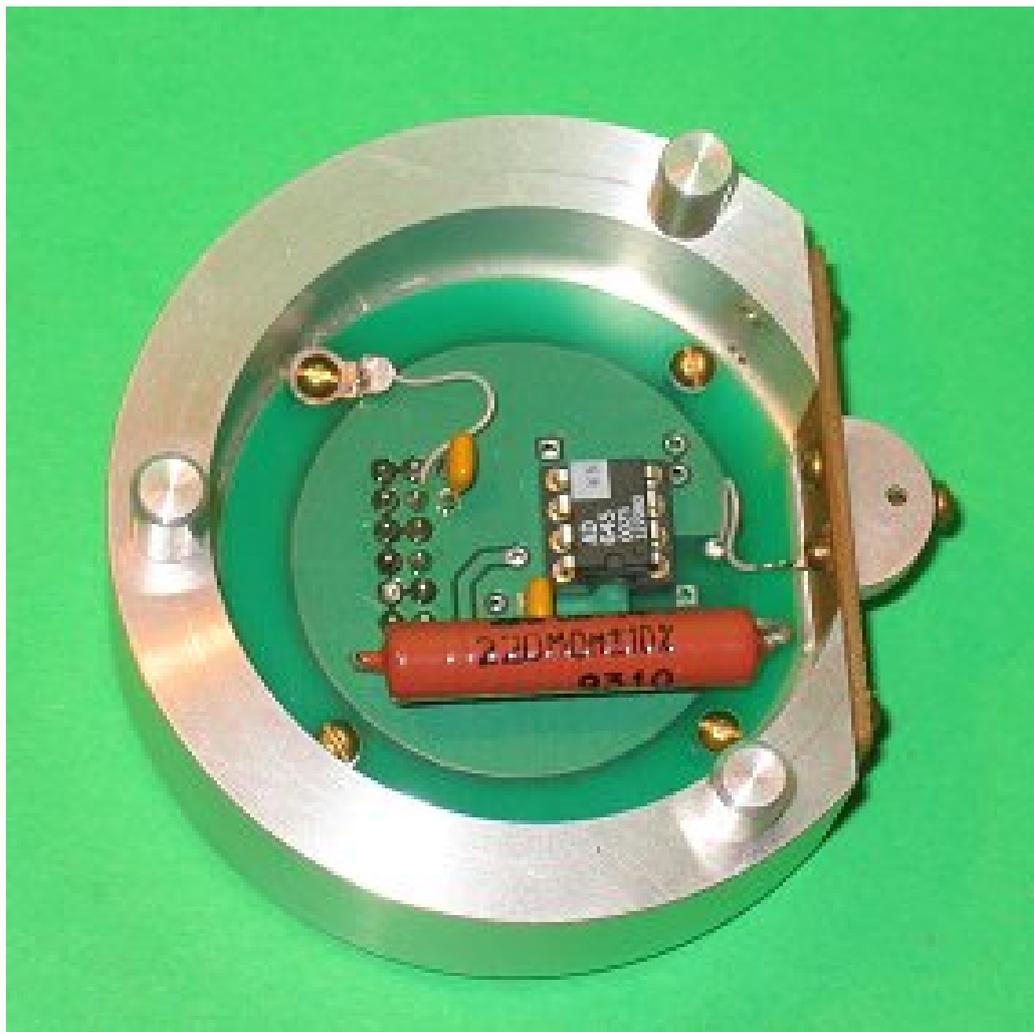


Рис. С.1. СТМ-головка – вид снизу. Виден номинал сопротивления обратной связи операционного усилителя.

- Deflection Max., mV - максимальное регистрируемое значение сигнала среднеквадратичного детектора амплитуды.
- Inverse Feedback - режим инверсии обратной связи.
- Inverse Deflection - режим инверсии значения ошибки обратной связи.
- Feedback Channel - номер канала АЦП 1, на котором регистрируется сигнал ошибки обратной связи.
- Cantilever Rigidity, N/m - жесткость кантилевера.
- DACs - адреса ЦАП-ов, ответственных за различные контроллеры и усилители.
 - X - усилитель X. Стандартное значение – 8.
 - X Precise - усилитель X повышенного разрешения. Стандартное значение – 9.
 - Y - усилитель Y. Стандартное значение – 10.
 - Y Precise - усилитель Y повышенного разрешения. Стандартное значение – 11.
 - Z - усилитель Z. Стандартное значение – 12.
 - Z Reduced - усилитель Z повышенного разрешения. Стандартное значение – 13.
 - Ut - генератор опорного напряжения U_t . Стандартное значение – 0.
 - Stepper - контроллер шагового двигателя. Стандартное значение – 7.
 - Generators Data - регистр данных генераторов частоты. Стандартное значение – 5.
 - Generators Configuration - регистр конфигурации генераторов частоты. Стандартное значение – 6.
 - Controller 1 - вспомогательный контроллер 1. Стандартное значение – 1.
 - Controller 2 - вспомогательный контроллер 2. Стандартное значение – 2.
 - Temperature - контроллер термостата. Стандартное значение – 3.
- DSP Timing - опорные частоты сигнального процессора, ЦАПов и АЦП.
 - DSP Freq., MHz - тактовая частота сигнального процессора, равна удвоенной частоте задающего кварцевого генератора. Стандартное значение – 32.768 МГц.
 - DAC Clock, MHz - тактовая частота ЦАПов. Стандартное значение – 4.096 МГц.
 - ADC Clock, MHz - тактовая частота АЦП. Стандартное значение – 1.024 МГц.
 - Timer - частоты прерывания таймера сигнального процессора.
 - * Resolution, μs - разрешение (частота прерывания кратна разрешению). Стандартное значение – 5.5542 μs .
 - * Freq., KHz - частота прерывания. Стандартное значение – 60.0147 КГц.
 - ADC Read Freq., KHz - частота оцифровки сигнала АЦП. Рассчитывается автоматически.
 - Feedback DAC Update Freq., KHz - частота обновления сигнала обратной связи. Рассчитывается автоматически.
 - Max. DAC Update Freq, KHz - максимальная частота обновления значений ЦАП. Рассчитывается автоматически.
- Stepper - настройка контроллера шагового двигателя. Контроллер шагового двигателя совмещен с коммутатором входных каналов АЦП, поэтому часть его настроек относится к коммутатору.

- Step Size, nm - размер одного шага. Стандартное значение – 20 нм.
- Speed, nm/s - скорость перемещения, зависит от величины шага, ограничена сверху аппаратными возможностями контроллера, так что начиная с некоторых скоростей контроллер начинает пропускать шаги, и установленная здесь скорость может не соответствовать действительной. Стандартное значение – 1630.84 нм/с.
- "Forward" Value - значение бита направления для подвода образца. Стандартное значение – 0.
- "Backward" Value - значение бита направления для отвода образца. Стандартное значение – 1.
- "Power On/Off" Feature - на некоторых моделях контроллеров есть отдельный бит для включения и выключения питания шагового двигателя, этот параметр задает наличие этой возможности. Стандартное значение – Disabled.
- Power - параметры управления питанием.
 - * "On" Value - значение бита питания для состояния "Включено".
 - * "Off" Value - значение бита питания для состояния "Выключено".
- Bits - соответствие битов контроллера отдельным функциям.
 - * Direction - бит направления движения.
 - * Step - бит шага. Вращение шагового двигателя выполняется путем пульсации состояния бита.
 - * Power - бит питания.
 - * Channels - биты управления каналами коммутатора.
 - ADC 1 (Feedback) - коммутатор АЦП 1. Номер канала задается числом от 0 до 3, что в двоичном представлении выглядит как два бита информации. Нумерация битов задает отображение битов этого числа (младший-нулевой) на биты контроллера. АЦП 1 используется для оцифровки сигнала ошибки обратной связи.
 - ADC 2 (Friction etc.) - коммутатор АЦП 2. Номер канала задается числом от 0 до 7, что в двоичном представлении выглядит как 3 бита информации. АЦП 2 используется для оцифровки произвольных сигналов.
- Landing - параметры операции подвода образца.
 - It, % - величина туннельного тока, в процентах от опорного значения, при которой подвод будет остановлен. Этот параметр введен для того, чтобы при подводе в режиме СТМ не повредить иглу. Стандартное значение – 30%.
 - Speed, nm/s - скорость подвода. Стандартное значение – 401.168 нм/с.
 - Max. Length, nm - максимальная длина подвода. Если образец был подведен на эту величину, а контакта с поверхностью так и не произошло, то подвод будет остановлен, и клиентская программа потребует вмешательства оператора. Стандартное значение – 200 мкм.
 - Update Precision, nm - частота, с которой позиция столика обновляется на стороне клиента. Стандартное значение – 200 нм.
 - Draw Back on Every Step - включение режима "осторожного" подвода. В этом режиме перед каждым шагом столик выдвигается пьезокерамикой вперед до отказа, и только если не было контакта с поверхностью, делается один или несколько шагов. Если же контакт произошел, то подвод считается завершенным.

- Drawback - опции режима "осторожного" подвода.
 - * Speed, nm/s - скорость перемещения столика пьезокерамикой.
 - * Precision, nm - точность перемещения столика пьезокерамикой (размер шага пьезокерамики).
 - * Step Length, nm - длина перемещения столика шаговым двигателем.
- Temperature - параметры калибровки термостата.
 - Path - путь к файлу калибровки термостата. Формат файла подробно описан в приложении D.
 - Calibration Data - содержимое файла калибровки.
- Auxiliary Port - включение дополнительного канала данных, получаемых через СОМ-порт. Если включена эта функция, то в списке возможных каналов появится еще один, с названием Auxiliary.
- AUX - параметры СОМ-порта
 - Initialization File - путь к файлу инициализации. Формат файла описан в приложении E
 - Data Units - единицы измерения данных.
 - Max. Data - максимальное значение данных (используется для преобразования в выбранные единицы).
 - СОМ Port Number - номер СОМ-порта.
 - Configure - вызов диалога конфигурации СОМ-порта.
- Network - сетевые настройки.
 - Listen ip - адрес TCP/IP, на котором сервер ожидает входящие подключения клиентов. Можно выбрать один из адресов, присвоенных компьютеру, либо все адреса сразу.
 - Listen port - порт TCP/IP, к которому подключаются клиенты. Стандартное значение – 25000. При смене значения порта необходимо поменять порт в клиентском программном обеспечении.
 - Max. Users - максимальное количество одновременно подключенных пользователей. Стандартное значение – 20 пользователей.
 - Buffer Size, Kb - размер буфера отправляемых данных. При заполнении буфера новые данные сканирования будут теряться, передаваться будут только служебные сообщения. Стандартное значение – 1 Мб.
 - Max. Buffer Size, Kb - максимальный размер буфера отправляемых сообщений. При превышении размера буфера клиент будет отсоединен. Стандартное значение – 1280 Кб.
 - Max. Idle Timeout, min - максимальный период времени, в течении которого клиент, подсоединенный в режиме управления микроскопом, может "молчать". Если в течении этого периода клиент не произвел никаких действий, он будет отключен от управления микроскопом, и перейдет в режим наблюдения. Значение 0 соответствует бесконечному периоду молчания. Стандартное значение – 1440 мин. (24 часа).

- Max. Authentication Timeout, sec - время, в течении которого подключающийся клиент должен аутентифицироваться. По истечении этого времени клиент будет автоматически отключен. Этот параметр введен для предотвращения DoS атак. Стандартное значение – 180 с. (3 мин.).
- HTTP Server - включение встроенного HTTP сервера. Эта опция запускает виртуальный HTTP сервер, на который будут выкладываться сканируемые изображения в формате JPEG с именами image0.jpeg и image1.jpeg, и списки текущих параметров с именами image0.txt и image1.txt.
- HTTP - параметры HTTP сервера.
 - Listen ip - адрес TCP/IP, на котором сервер ожидает входящие подключения.
 - Listen port - порт веб-сервера. Стандартное значение – 80.
 - Max. Users - максимальное количество одновременно подключенных клиентов. Стандартное значение – 10.
 - Refresh Timeout, sec - период обновления изображений и списков параметров. Стандартное значение – 60 с.
- Video Capture - включение видеозахвата. Сервер может периодически захватывать изображение с видеокамеры, подключенной к блоку управления, и передавать его клиентам. Так же он может сохранять изображение на локальном диске.
- Video - параметры видеозахвата.
 - Camera - выбор камеры.
 - Configure - конфигурация камеры.
 - Period, sec - период захвата. Стандартное значение – 30 сек.
 - Save to File - включает сохранение в файл.
 - File path - путь к файлу.
 - Publish to WWW - публикация изображения на встроенном веб-сервере (опция доступна только если сервер включен).
 - WWW file name - имя ресурса, который будет доступен на веб-сервере.
- PIC USB controller - включение дополнительного контроллера на базе микропроцессора PIC16C765.
- PIC16C765 - параметры контроллера.
 - CLSID - системный идентификационный номер устройства.
 - Device number - порядковый номер устройства (начинается с 0) – для выбора устройства в случае, если подключено несколько устройств.
- Alarm action - включение таймера для запуска произвольного действия. Эта функция позволяет один раз или периодически выполнять произвольное действие путем вызова функции в задаваемой пользователем библиотеке (DLL).
- Alarm - настройка таймера и действия.
 - Type - тип события - одиночное или периодическое.

- Start date - дата и время первого запуска действия.
 - * Year - год.
 - * Month - месяц.
 - * Day - день.
 - * Hour - час.
 - * Min - минута.
 - * Sec - секунда.
- Period - периодичность повтора действия.
 - * Days - дни.
 - * Hours - часы.
 - * Minutes - минуты.
 - * Seconds - секунды.
- Watchdog - включение сторожевого таймера (работает только на блоках управления со встроенными платами). При зависании сервера (если он не сбросит таймер за установленное время задержки) блок управления будет перезагружен.

Приложение D

Формат файла данных калибровочной кривой столика с контролируемой температурой образца

Файл записан в текстовом формате и состоит из одной секции. Секция начинается заголовком

```
[data]
```

и продолжается до конца файла. В секции содержится несколько записей. Запись имеет формат

```
<напряжение>=<температура>;
```

<напряжение> и <температура> - вещественные числа в стандартном научном формате, с точкой (.) в качестве десятичного разделителя.

Ниже приведен пример файла инициализации.

```
[temperature]  
-3.00=27.5;  
-2.67=28.0;  
-2.33=29.0;  
-2.00=31.5;  
-1.67=33.5;  
-1.33=36.0;  
-1.00=37.0;  
-0.67=39.0;  
-0.33=42.0;  
0.00=42.5;  
0.33=45.0;  
0.67=47.5;  
1.00=49.0;  
1.33=50.0;  
3.00=60.0;
```

Приложение Е

Формат файла инициализации СОМ-порта

Файл записан в текстовом формате и состоит из нескольких секций. Порядок следования секций не имеет значения. Каждая секция начинается заголовком вида

[<имя_секции>]

и продолжается до начала следующей секции или конца файла. В каждой секции содержится несколько записей. Запись имеет формат

<имя_записи>=<значение>;

В файле должны быть описаны следующие секции: `init`, `sample`, `var`, `var.scale` (не обязательно), `var.display` (не обязательно).

В секции `var` описываются переменные. Имена переменных могут подставляться со знаком `$` в значения записей. В том случае, если существует секция `var.scale`, в этой секции могут быть заданы масштабные коэффициенты для преобразования значений переменных в вещественные числа. Тогда в окне параметров клиентского программного обеспечения будут появляться значения, умноженные на масштабные коэффициенты. Если существует секция `var.display`, в ней могут задаваться альтернативные названия переменных, более удобные для пользователя.

В секции `init` должны содержаться следующие записи:

- `RdInterval` - максимальный интервал (в миллисекундах) между двумя последовательными символами, считываемыми с порта.
- `RdTotMult` - максимальное время считывания одного символа.
- `RdTotConst` - постоянная считывания; считывание с порта строки в `N` символов прерывается по тайм-ауту, если время считывания строки превышает значение, равное $N * \text{RdTotMult} + \text{RdInterval}$ либо интервал между приходом двух последовательных символов превышает значение `RdInterval`.
- `WrTotMult` - максимальное время записи одного символа.
- `WrTotConst` - постоянная записи.

- **Speed** - формула, задающая максимальную скорость снятия данных (в Герцах). В формуле могут быть использованы переменные, вещественные числа, операции + - * / и скобки (). Операции умножения и деления имеют приоритет над операциями сложения и вычитания.
- **init** - строка инициализации устройства; строка состоит из числовых значений, задержек и escape-функций, разделенных запятыми. Числовые значения представляются в десятичном (например 123), шестнадцатеричном (например 0xa1) или восьмеричном (0175) виде. Каждое числовое значение соответствует одному байту посылаемой информации. Задержка записывается в виде !<время в миллисекундах>, например !500. Escape-функция - одно из следующих значений:
 - CLRDTR
 - CLRRTS
 - SETDTR
 - SETRTS
 - SETXOFF
 - SETXON
 - SETBREAK
 - CLRBREAK

- **init_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **init**

В секции **sample** должны содержаться следующие записи:

- **init** - строка инициализации считывания одного значения. Строка состоит только из числовых значений, разделенных запятыми.
- **init_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **init**.
- **lobyte** - строка инициализации считывания нижнего байта значения.
- **lobyte_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **lobyte**.
- **lobyte_offset** - смещение к нижнему байту в считанной строке, может быть отрицательным.
- **hibyte** - строка инициализации считывания верхнего байта значения.
- **hibyte_read** - число байт, которые нужно считать после отправки строки **hibyte**.
- **hibyte_offset** - смещение к верхнему байту в считанной строке, может быть отрицательным.

Общение с портом происходит следующим образом:

- При загрузке DSP, если включен дополнительный канал данных (??), происходит отправка в выбранный СОМ-порт строки **[init]init** и считывается **[init]init_read** байт.

- В каждой точке изображения в порт посылается строка [sample]init и считывается [sample]init_read байт. После их считывания посылается строка [sample]lobyte и считывается [sample]lobyte_read байт. Затем аналогичным образом посылается строка [sample]hibyte и считывается [sample]hibyte_read байт. Из считанных данных длиной [sample]init_read + [sample]lobyte_read + [sample]hibyte_read берутся два байта со смещениями [sample]init_read + [sample]lobyte_offset и [sample]init_read + [sample]lobyte_read + [sample]hibyte_offset, из которых формируется 16-битный результат.

Ниже приведен пример файла инициализации.

```
[init]
RdInterval=500;
RdTotConst=500;
RdTotMult=500;
Speed=1.0/(2.0e-6*$CCPR2*$TMRQuanta);
WrTotConst=0;
WrTotMult=0;
init=SETRTS,!100,CLRRTS,!100,0x74,$Uhv,0xf4,0x74,$Ud,0xfc;
init_read=6;

[sample]
hibyte=0xa6;
hibyte_offset=0;
hibyte_read=1;
init=0x30,$C_DvdReg,0x1c,$CCPR2High,0x1b,$CCPR2Low,0x29,$TMRQuanta,0xf2;
init_read=9;
lobyte=0x81;
lobyte_offset=0;
lobyte_read=1;

[var]
CCPR2(Cntr),int,0,0xffff=256;
CCPR2High,int,0,255,,#CCPR2 >> 8=#CCPR2 >> 8;
CCPR2Low,int,0,255,,#CCPR2 & 0xff=#CCPR2 & 0xff;
C_DvdReg(Div),int,0,255=0;
TMRQuanta(Cntr T, ms),int,0,255,0.05*##=40;
Ud(Ud, V),int,0,255=20;
Uhv(Uhv, V),int,0,255=200;
sample_freq,double,,,,1.0/(2.0e-6*#CCPR2*#TMRQuanta)=1;
```

Приложение F

Параметры 3-х мерных изображений

При выводе 3-х мерных изображений используются функции библиотек OpenGL. Поэтому параметры трехмерных изображений (рис. F.1) отражают параметры, используемые в уравнении освещенности (lighting equation), используемом этими библиотеками. Выглядит оно следующим образом:

$$L = I_E^M + R_A^M \cdot I_A^S + \sum_{i=1}^n (R_A^M \cdot I_A^{L_i} + R_D^M \cdot I_D^{L_i} \cdot (\bar{N} \cdot \bar{N}_{L_i}) + R_S^M \cdot I_S^{L_i} \cdot (\bar{N}_V \cdot \bar{N}_{L_i})^{Sh^M})$$

Здесь

- I_E^M - Интенсивность излучения материала (Mat. Emission).
- R_A^M - отражающая способность материала для рассеянного света (Mat. Color).
- R_D^M - отражающая способность материала для направленного света (Mat. Color).
- R_S^M - отражающая способность материала для отражаемого света (Mat. Specular)
- I_A^S - интенсивность собственной освещенности пространства (Scene Ambient)
- n - число источников света (в нашем случае - 1, если освещение включено, и 0, если выключено, задается командой меню Вид/ Подсветка)

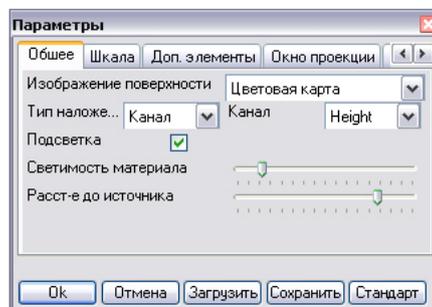


Рис. F.1. Параметры трехмерных изображений

- $I_A^{L_i}$ - интенсивность рассеянного света (Light Ambient)
- $I_D^{L_i}$ - интенсивность направленного света (Light Diffuse)
- $I_S^{L_i}$ - интенсивность отражаемого света (Light Specular)
- \bar{N} - вектор нормали к поверхности
- \bar{N}_{L_i} - вектор направления из точки поверхности на источник света
- \bar{N}_V - вектор направления из точки поверхности на наблюдателя
- Sh^M - светимость материала (Material Shininess)

В нашем случае используется модель, в которой $R_A^M = R_D^M$, и этот параметр называется Цвет материала. Если на закладке Общее отмечен флаг Одноцветная, то цвет материала будет браться с закладки Цвет материала, в противном случае - из текущей палитры в соответствии с высотой точки.

R, G и B составляющие каждого параметра можно задать как с помощью линеек прокрутки, так и с помощью диалога выбора цвета. Этот диалог появляется при нажатии левой кнопкой мыши на цветном квадрате, расположенном в правой части соответствующей закладки.

Текущие настройки можно сохранить в файл с расширением .3dopt, считать из него, или восстановить значения по умолчанию.

Приложение G

Параметры шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная, например, с помощью базовой линии или части плоскости. Оценивать шероховатость поверхности в программе ФемтоСкан Онлайн можно как для поверхности, так и для конкретного выделенного профиля вдоль заданного отрезка. В первом случае команда вызывается в меню Математика/ Анализ шероховатости . Для того чтобы вывести результаты для профиля поверхности вдоль выделенного отрезка, необходимо выбрать отрезок, далее Кривая/ Анализ шероховатости . Для поверхности в целом будут выведены следующие параметры : R_a , R_{max} , R_{sk} , R_q , R_{ku} (см. таблицу G.1) Для профиля вдоль отрезка кроме этих параметров также будут присутствовать: R_z , S_m , S_{mh} , S_{ml} (см. таблицу G.2).

Например, снимок поверхности монетки (см. рис G.1) и выделенная кривая на ней (ее профиль) (см. рис G.2).

R_a	R_{max}	R_q	R_{sk}	R_{ku}
1.69нм	17.1нм	2.19нм	0.614нм	3.76нм

Таблица G.1. Параметры шероховатости для поверхности.

R_a	R_{max}	R_z	R_q	R_{sk}	R_{ku}	S_m	S_{mh}	S_{ml}
1.2нм	8.41нм	3.89нм	1.56нм	1.1нм	4.71нм	501нм	217нм	292нм

Таблица G.2. Параметры шероховатости для профиля.

Теперь более подробно об этих параметрах.

G.1 R_a средняя шероховатость.

Этот параметр определяется как среднее арифметическое отклонение профиля от средней наклонной прямой или плоскости (средней линии профиля, средней плоскости), проведенной методом наименьших квадратов. Он определяется как площадь отклонения профиля шероховатости относительно средней прямой (плоскости) деленной на общую длину базовой линии,

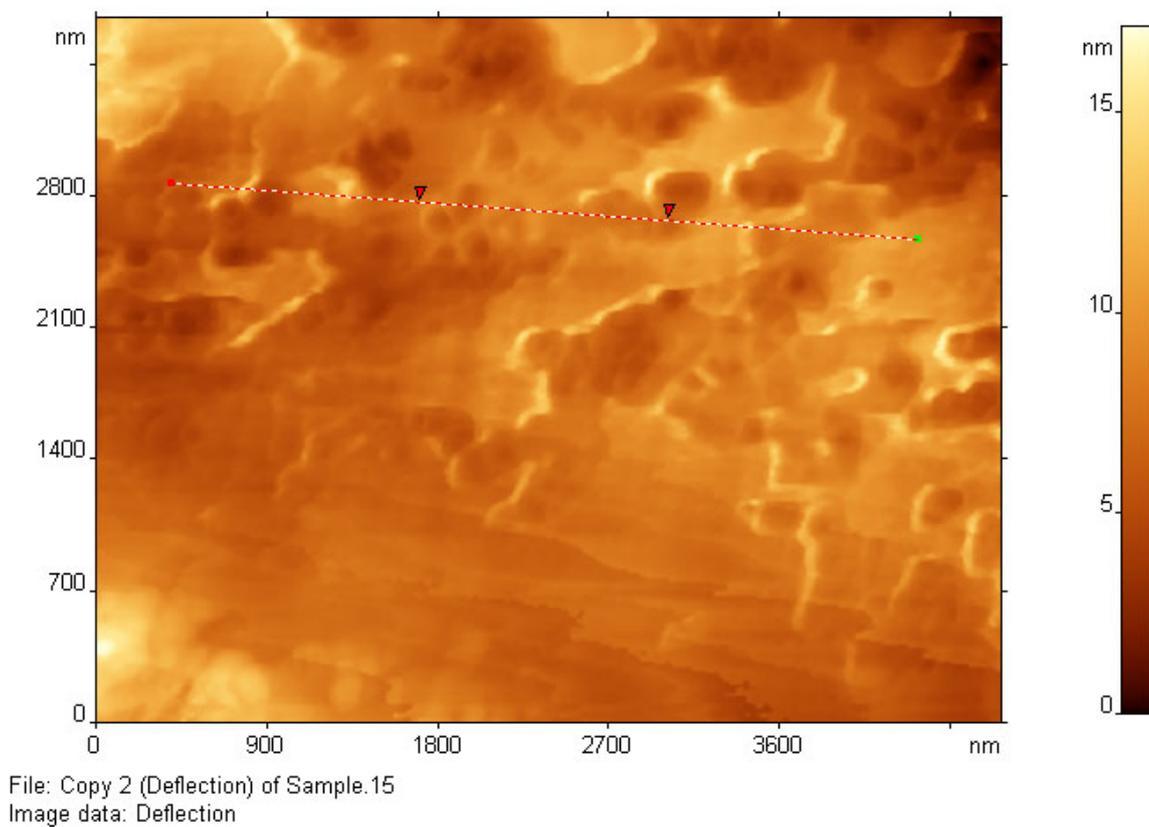


Рис. G.1. Пример поверхности и выбор прямой на ней.

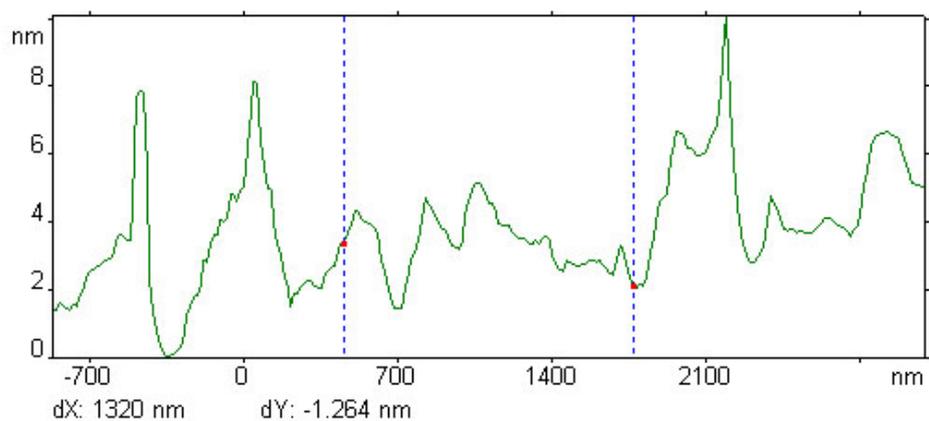


Рис. G.2. Профиль, выбранный на G.1.

и численно равен интегралу:

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |r(x)| dx$$

для дискретного случая

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |r_n|$$

Аналогично для поверхности. Но R_a не дает полной картины профиля шероховатости поверхности, ведь многие поверхности могут иметь одинаковую среднюю шероховатость, но совершенно различную форму.

G.2 R_q среднеквадратичная шероховатость.

Среднеквадратичная шероховатость вычисляется через другой интеграл:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L r^2(x) dx}$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N r_n^2}$$

и характеризует среднеквадратичное отклонение профиля поверхности относительно базовой линии. R_q имеет значение в применении к оптике, где от этого параметра зависят оптические свойства поверхности.

G.3 R_{max} наибольшая высота профиля.

R_{max} - расстояние между линией выступов и линией впадин, т.е. наибольшим пиком и наибольшей впадиной на базовой линии (плоскости).

G.4 R_z высота неровностей профиля по 10 точкам

$$R_z = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (R_{nmax} + R_{nmin})$$

R_{nmax} $n = 1 \dots 5$ пять высот наибольших пиков, R_{nmin} $n = 1 \dots 5$ пять высот наибольших впадин.

G.5 S_m средний период.

Периодом считается участок профиля, пересекающий среднюю линию снизу вверх два раза. Если S_i ширина каждого периода, то

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (S_n)$$

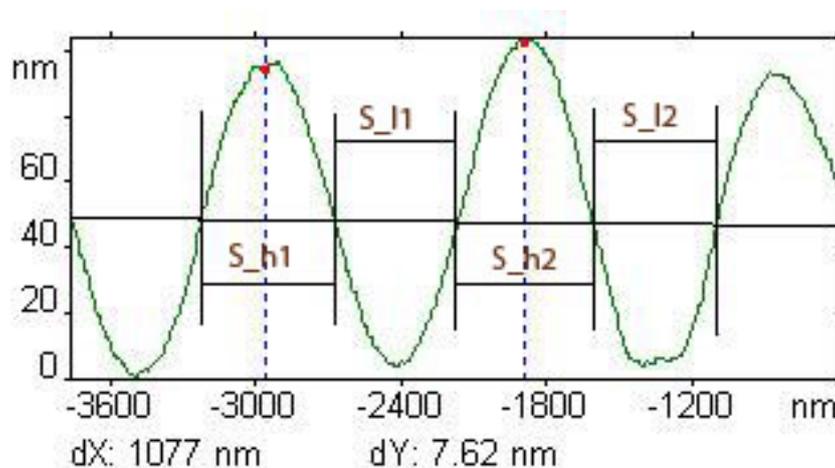


Рис. G.3. Вычисление среднего периода по пикам и впадинам.

G.6 S_{mh} , S_{ml} средние периоды по пикам и впадинам.

Расстояние между впадинами определяется как длина участка базовой линии, в котором профиль поверхности пересекает среднюю линию снизу вверх и вернулся обратно. Расстояние между пиками определяется как длина участка базовой линии, в котором профиль поверхности пересекает среднюю линию сверху вниз и вернулся обратно (см. рис G.3). Средние периоды по впадинам S_{ml} и пикам S_{mh} получается путем усреднения этих величин.

$$S_{mh} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_{hn}$$

$$S_{ml} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N S_{ln}$$

G.7 R_{sk} параметр асимметрии.

Функция распределения вероятности. Функция распределения вероятности дает вероятность того, что профиль имеет заданную высоту Z . Функция распределения имеет колоколообразную форму и показывает какое "количество" профиля имеет определенную высоту. Параметр асимметрии описывает форму функции распределения вероятности, то есть симметричность разброса профиля относительно средней линии.

$$R_{sk} = \frac{1}{LR_q^3} \int_0^L r^3(x) dx$$

$$R_{sk} = \frac{1}{NR_q^3} \sum_{n=1}^N r_n^3 dx$$

Профиль с положительным коэффициентом асимметрии, имеет четкие высокие пики, которые выделяются от среднего. Поверхности с отрицательным коэффициентом асимметрии (пористые поверхности) имеют четкие глубокие впадины в гладких плато. В менее очевидных случаях $R_{sk} \approx 0$. Значения $|R_{sk}| > 1.5$ показывают то, что поверхность имеет непростую форму

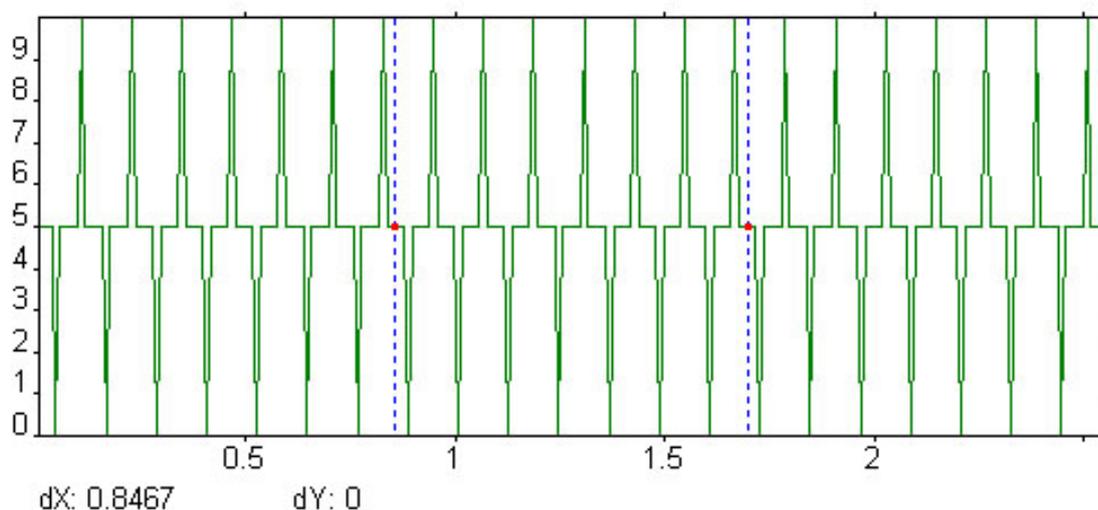


Рис. G.4. Пример профиля с узкими пиками и впадинами.

и простые параметры, такие как R_a , вероятно, не могут адекватно характеризовать качество поверхности. Коэффициент асимметрии безразмерен.

G.8 R_{ku} мера эксцесса

Этот параметр характеризует ширину пиков или впадин, т.е. отклонение гистограммы от гауссовой формы. Если гистограмма имеет гауссову форму, то $R_{ku}=3$.

$$R_{ku} = \frac{1}{LR_q^4} \int_0^L r^4(x) dx$$

Если профиль поверхности имеет вытянутые (узкие) пики или впадины (см. рис G.4), то $R_{ku} > 3$ (см. таблицу G.3)

R_a	R_{max}	R_z	R_q	R_{sk}	R_{ku}	S_m	S_{mh}	S_{ml}
0.848	10.1	5.05	2.03	$-2.57e_{-017}$	6.07	0.112	0.0564	0.0559

Таблица G.3. Параметры шероховатости для профиля, имеющие узкие пики и впадины.

Если есть широкие пики или впадины (см. рис G.5), то $R_{ku} < 3$ (см. таблицу G.4)

R_a	R_{max}	R_z	R_q	R_{sk}	R_{ku}	S_m	S_{mh}	S_{ml}
3.2	10.6	6.16	3.95	-0.00219	1.6	0.296	0.147	0.149

Таблица G.4. Параметры шероховатости для профиля, имеющего широкие пики и впадины.

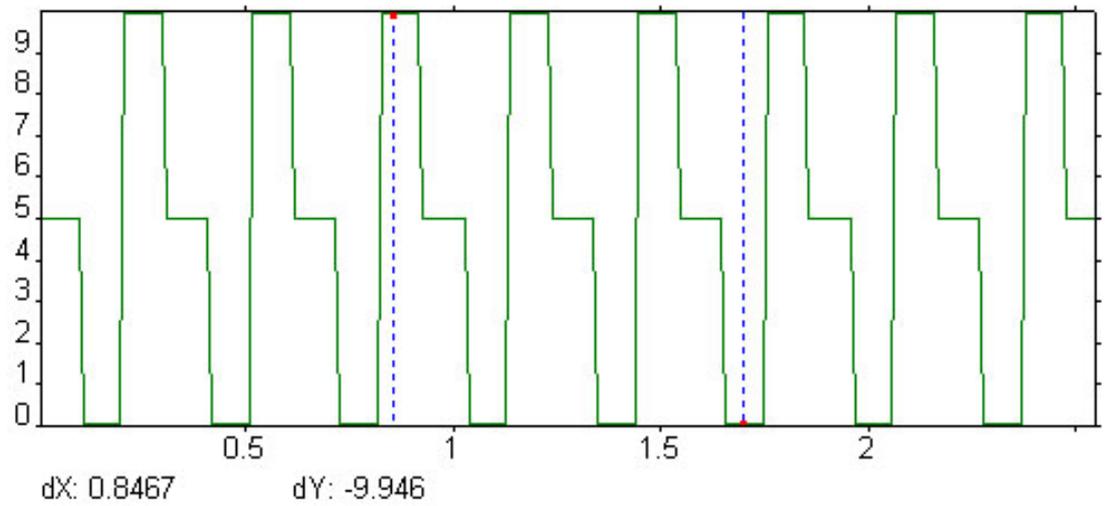


Рис. G.5. Пример профиля имеющего широкие пики и впадины.

Предметный указатель

- Файл
 - Опции, 46
- Фурье
 - Контрастировать, 95
 - Обнулить снаружи, 95
 - Обнулить внутри, 95
 - Уменьшить, 95
 - Увеличить, 95
- Гистограмма
 - Обрезать, 95
- Кривая, 105
 - Анализ шероховатости, 108, 139
 - Авто-корреляция, 105
 - Дифференцировать, 105
 - Гистограмма, 106
 - Инвертировать, 106
 - Копировать, 106
 - Кривая разделения, 111
 - Медианный фильтр, 107
 - Нормализовать силовую кривую, 109
 - Обрезать, 106
 - Оптимизировать шкалу, 107
 - Пороговая фильтрация, 108
 - Структурная функция, 105
 - Усреднение, 106
 - Увеличить резкость, 106
 - Выбрать кривую для X, 106
 - Выравнивание, 107
 - Выравнивание слайном, 108
 - WLC анализ, 111
- Линия
 - Сгладить, 66
 - Убрать, 66
 - Заменить на Нижнюю, 66
 - Заменить на Верхнюю, 66
- Мат. функции
 - Анализ шероховатости, 80
 - Анализ зерен, 83
 - Фильтр Винера, 71
 - Инверсия высоты, 70
 - Исправление искажений, 85
 - Линейные фильтры, 87
 - Гаусс, 88
 - Градиент, 88
 - Лаплас, 88
 - Медиана X, 71
 - Медианный фильтр, 71
 - Медианный фильтр крест, 71
 - Морфологические фильтры, 76
 - Найти центр масс, 81
 - Обрезание изображений, 70
 - Оптимизировать шкалу, 71
 - Пороговая фильтрация, 81
 - Поворот, 72
 - Сгладить участок, 74
 - Сложение, 74
 - Транспонировать изображение, 72
 - Усреднение, 70
 - Усреднение по строкам, 85
 - Увеличить резкость, 70
 - Вычитание, 74
 - Выделить границы, 87
 - Выделить зерна, 86
 - Выравнивание, 72
 - Выравнивание слайном, 73
 - Высота по интерференционной картине, 81
- Математика
 - Анализ шероховатости, 139
- Меню Файл
 - Быстрый просмотр, 52
 - Экспорт, 55
 - Групповой экспорт, 55
 - Открыть, 50
 - Слайд-шоу, 52
 - Сохранить, 55
 - Сохранить как..., 55
 - Сохранить все, 55
 - Сохранять в..., 51, 55
 - Удалить, 55

- Восстановить, 55
- Захват...
 - Видео, 60
 - TWAIN..., 61
- Меню Математика, 69
 - Анализ шероховатости, 80
 - Арифметика
 - Разность, 74
 - Сложная операция, 74
 - Сумма, 74
 - Фильтр Винера, 71
 - Градиент, 88
 - Инвертировать, 69
 - Исправление искажений, 85
 - Корреляция, 89
 - Автокорреляция, 89
 - Взаимная корреляция, 89
 - Макрос..., 69
 - Медиана X, 71
 - Медианный фильтр, 71
 - Медианный фильтр крест, 71
 - Обрезать, 70
 - Оптимизировать шкалу, 71
 - Персистентная длина, 89
 - Добавить кривую, 89
 - Обработка, 90
 - По часовой на 90, 72
 - Пороговая фильтрация, 81
 - Сгладить участок, 74
 - Транспонировать изображение, 72
 - Усреднение, 70
 - Усреднение по строкам, 85
 - Увеличить резкость, 70
 - Выделить границы, 87
 - Выделить зерна, 86
 - Выравнивание, 72
 - Выравнивание сплайном, 73
 - Высота по интерференционной картине, 81
- Меню Операции, 90
 - Фурье, 94
 - Гистограмма, 95
 - Изменить размер, 104
 - Найти ступеньки, 98
 - Площадь поверхности, 105
 - Построить 3D, 90
 - Преобразовать кривую в сечение, 68, 102
 - Создать калибровочную кривую, 102
 - Создать копию, 90
 - Выделить объекты, 95
- Заполнить внутренние области, 98
- Меню Вид
 - Автообновление, 62
 - Декорации
 - Кривые, 92
 - Метки, 92
 - Подписи, 92
 - Сечения, 92
 - Комментарии, 58
 - Настройки..., 66
 - Авто, 66
 - Фиксированная ширина, 66
 - Фиксированный, 66
 - Фиксированный масштаб, 66
 - Обновить, 62
 - Очистить
 - Кривые, 67
 - Метки, 68
 - Панели
 - Шкала, 61
 - Параметры..., 50, 58
 - Подсветка, 91
 - Полноэкранный режим, 59
 - Разрешение..., 58
 - Реальный размер, 115
 - Создание пролета над поверхностью, 94
 - Стиль меток, 68
- Меню Видео
 - Остановить, 60
 - Восстановить реальный размер, 61
 - Захват кадра, 60
 - Захват множества кадров, 60
 - Запись, 60
- Меню вид
 - Запомнить палитру, 62
- Объекты
 - Удалить с гистограммы, 96
 - Удалить с изображения
 - Остальные, 96
 - Выделенные, 96
 - Вычислять среднюю высоту, 97
- Окна
 - Каскад, 114
 - Мозаика, 114
 - Окна..., 114
 - Выровнять иконки, 114
 - Заккрыть все, 114
- Палитра, 61
 - Авто-масштабирование, 61
 - Фиксированная шкала, 61

- Новая палитра, 61
- Построчный авто-масштаб, 61
- Построчный авто-масштаб+выравнивание, 61
- Параметры
 - Дополнительно..., 39
 - Кривые, 39
 - Модуляция Z, 38
 - Осциллограф, 37
 - Поиск резонанса, 38
 - Поверхность, 34
 - Двойной проход, 36
 - Литография, 36
 - Общие, 34
 - Переменяющийся, 36
 - Режим, 34
 - С отводом, 36
 - D(Z), 39
 - F(Z), 39
 - It(Ut), 39
 - It(Z), 39
- Параметры обратной связи, 31
- Правка
 - Добавить текст, 113
 - Копия, 113
 - Копия текста, 113
 - Отмена, 113
 - Повтор, 114
- Работа с кривыми, 105
 - Анализ силовой кривой, 109
 - Кривая разделения, 111
 - Нормализация силовой кривой, 109
 - WLC анализ, 111
 - Анализ шероховатости, 108
 - Дифференцирование, 105
 - Инвертировать, 106
 - Копирование кривой, 106
 - Корреляция, 105
 - Медианный фильтр, 107
 - Обрезание кривой, 106
 - Оптимизировать шкалу, 107
 - Пороговая фильтрация, 108
 - Построение гистограммы, 106
 - Построение параметрической кривой, 106
 - Структурная функция, 105
 - Усреднение, 106
 - Увеличить резкость, 106
 - Выравнивание, 107
 - Выравнивание сплайном, 108
- Режимы курсора, 62
 - Кривая, 67
 - Метки, 68
 - Расстояние, 67
 - Угол, 67
 - Выделение, 64
 - Выделение протяженного объекта, 68
- Режимы сканирования поверхности
 - Двойной проход, 36
 - Литография, 36
 - Переменяющийся, 36
 - С отводом, 36
 - Топография, 36
- СЗМ
 - Окно чата, 44
 - Опции клиента..., 44
 - Остановить, 42, 43
 - Панель, 26
 - Параметры, 29
 - Переместить образец, 44
 - Подсоединиться Клиентом, 26, 45
 - Подсоединиться Мастером, 26, 45
 - Показать панель Администратора, 28
 - Выбрать профиль, 28
 - Запуск
 - Фотодиод, 43
 - Модуляция Z, 43
 - Осциллограф, 43
 - Подвод, 40
 - Установка смещения, 40
 - Загрузка, 39
 - Z(X,Y), 40
- Сканирование
 - Перезапуск Сверху, 42
 - Приблизить, 40
 - Удалить, 40
 - Установить смещение, 42
 - D(Z) в..., 43
 - F(Z) в..., 43
 - It(Ut) в..., 43
 - It(Z) в..., 43
- Создание пролета над поверхностью
 - Добавить, 94
- Запуск
 - Зависимость, 42
- драйвер, 10
- клиент, 12, 26
 - Параметры,
 - ИеС см.Параметры29
 - панель администратора, 28
 - параметры сканирования, 29

- создание файла калибровки гистерезиса, [temperature.ini](#), [133](#)
[102](#)
- выбор профиля, [28](#)
- мат. функции
 - медианная фильтрация, [16](#)
 - подсветка, [17](#)
 - усреднение, [15](#)
 - усреднение по строкам, [16](#)
 - вычитание среднего наклона, [13](#)
- сервер, [10](#), [19](#)
 - конфигурация, [22](#)
- 3D Options
 - Light Ambient, [138](#)
 - Light Diffuse, [138](#)
 - Light Specular, [138](#)
 - Mat. Color, [137](#)
 - Mat. Emission, [137](#)
 - Mat. Specular, [137](#)
 - Material Shininess, [138](#)
 - Scene Ambient, [137](#)
- 3D Параметры
 - Общее, [138](#)
- auxport.ini, [134](#)
 - init, [134](#)
 - sample, [135](#)
 - var, [134](#)
- DSP
 - программа, [6](#)
- Fmboard, [19](#)
 - клиенты, [22](#)
 - конфигурация сервера, [22](#)
 - Calibration, [24](#)
 - Profiles, [23](#)
 - Users, [23](#)
 - окна сообщений, [21](#)
 - Errors, [22](#)
 - Events, [22](#)
 - осциллограф, [22](#)
 - панель инструментов, [21](#)
 - загрузка, [22](#)
 - Console, [21](#)
 - Download, [22](#)
 - Options, [22](#)
- Parameters, [30](#)
- settings.ini, [124](#)
- View
 - Highlighted, [137](#)
 - Options..., [137](#)